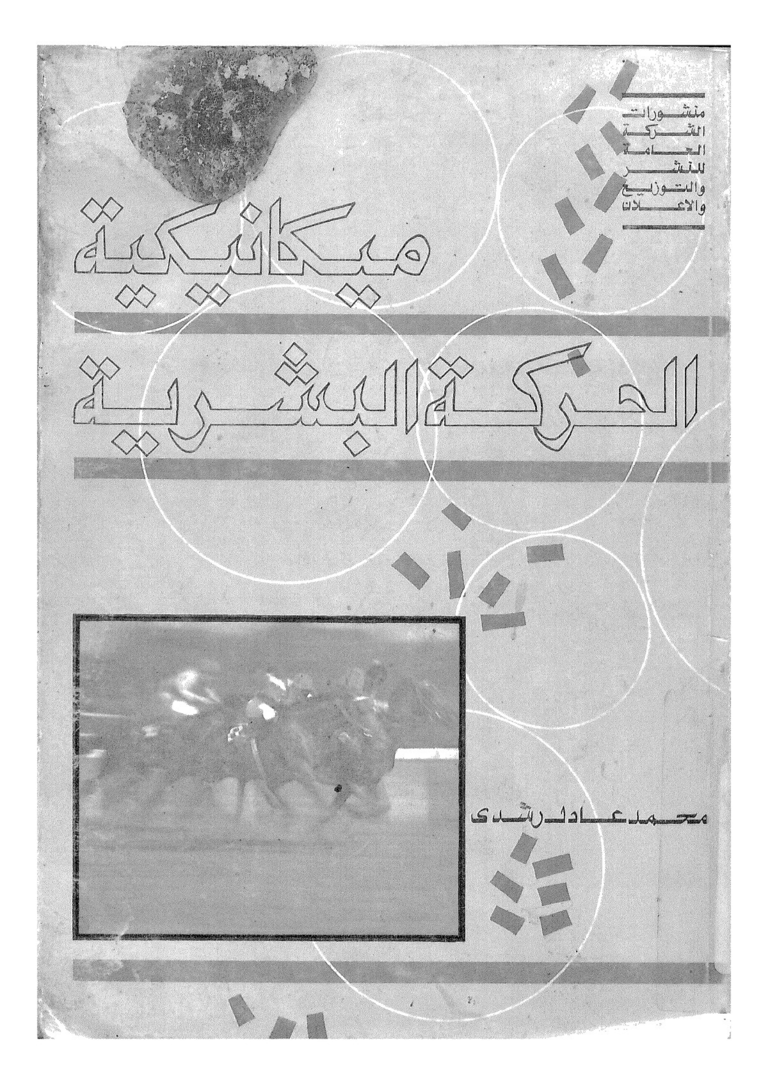

منشورات الشركة العامة للنشر والتوزيع والاعلان
ميكانيكية
الحركة البشرية
محمد عادل رشدي

اهداءات ٢٠٠٣

أسرة المرحوم الأستاذ/محمد سعيد البسيونى

الإسكندرية

ميكانيكية الحركة البشرية

محمد عادل رشدى
المعيد بكلية التربية الرياضية بالاسكندرية

ميكانيكية الحركة البشرية

منشورات
الشركة العامة للنشر والتوزيع والاعلان

الطبعة الأولى
١٩٧٨م .

الإهداء

إلى زوجتي

وإلى ابننا وسام

المؤلف

تقـــديم

لقد تطور الإنسان منذ بدء الخليقة فمر من مجتمع « متحرك » امتهن الصيد إلى أن أصبح يمتهن الزراعة واستقر واستمر في تطوره محققاً المظاهر الحضارية التي وصلنا إليها.. وفي خلال مراحل التطور هذه كانت الرياضة والحركة هي أساس العمل ... بل كان مجهود الإنسان وحركته وطاقته هي وسيلته للانتاج .. وفي كل هذه المراحل وعبر التطور كانت المرأة تشارك الرجل في العمل .. أي في الحركة ..

ولكن الآن – ونتيجة للتطور الحضاري الكبير الذي نعيشه فان هذا أوجب التخصص في العمل .. وحلت الآلة في كثير من الحالات محل العمل الحركي .. ونشأت الحاجة إلى أفراد في المجتمع يتخصصون في أعمال أقل حركة .. وتوفرت الكثير من الآلات والأدوات المنزلية المعاونة لربة الأسرة .. وقد أدى كل هذا إلى حقيقة أساسية هي الإقلال من الاعتماد على العمل الحركي ... وهذا بدوره له إنعكاساته على الحالة الصحية لجسم الإنسان .. مما أوجب التخصص في دراسة الحركة وتقنيتها .

وهذا الكتاب يتناول دراسة علم الحركة بطريقة متكاملة ومتناسقة .. ولقد انتهج المؤلف أسلوباً علمياً شيقاً في تنظيم الكتاب .. وترابط أجزائه .. وعرضه للمواضيع المختلفة .. وهذا ليس بجديد على الأخ الزميل الأستاذ

محمد عادل رشدي .. فهو دارس ومدرس للعلوم الرياضية -بفروعها المختلفة- لمدة تزيد على الخمسة عشر عاماً .. وله مقدرة فائقة في تبسيط المعلومات وشدّ انتباه القارىء .. ولذلك فقد جاء هذا الكتاب في صورة متكاملة .. تقدم لطالب العلم المتخصص ما يبغيه من مادة علمية متكاملة ... وتقدم للقارىء الغير متخصص ما يتطلبه من سهولة في العرض والشرح .. وإنني لعلى ثقة كبيرة أن هذا الكتاب سيكون مفيداً ونافعاً .. وهو إضافة جديدة ومطلوبة للمكتبة العربية الثقافية عامة .. والرياضية خاصة .

والله ولي التوفيق .

دكتور هشام عبد الجواد
معهد الإنماء العربي / طرابلس

مقـــدمة

لو أن الإنسان أراد أن يقف فما الذي يحدث ، عليه أن يتصور عملية الوقوف في ذهنه وإذا ما اتجهت إرادته للوقوف فان صورة الوقوف تتحول إلى صورة ديناميكية حركية ، تنبعث منها الطاقة اللازمة لإتمام عملية الوقوف . وكذلك الشأن إذا أراد الإنسان أن يحرك يده أو ساقه أو يقوم بأداء حركة ما .

ولقد يتصور البعض في الوقت الحالي أن قوة الإنسان تقف فلا سيطرة للانسان إلا على أعضائه الداخلية أما الكون الخارجي فهو معزول عنه . ومن حسن الطالع أن العلم الطبيعي الحديث قد بدأ يدحض هذه الفكرة فحدود الإنسان لا تنتهي بطوله أو عرضه أو حجمه بل إنها ممتدة إلى ما بعد ذلك بكثير . فالإنسان هو مصدر الإشعاع لشتى صنوف الطاقات التي تؤثر في كل ما يحيط به بصفة عامة .

والمرجع الذي بين أيدينا الآن يتناول الحركة البشرية من الناحية الميكانيكية فعلم الميكانيكا يبحث في نوعين من الحركة أولهما البحث في الحركة التي تلي أي حالة ابتدائية ممكنة من حالات الحركة والوضع وهذا ما يعرف بعلم الديناميكا Dynamics والنوع الثاني يبحث في القوى والأوضاع الإبتدائية اللازمة لكي تكون الحركة المثالية من نوع معين بما في ذلك السكون الذي هو حالة خاصة من حالات الحركة ويسمى علم الأستاتيكا Statics .

وعن طريق تناولنا للحركة من الناحية الميكانيكية نستطيع القيام بتقييم مظاهر الحركة تقييماً موضوعياً بالإضافة إلى إمكانية قياس مظاهرها الكمية مثل السرعة والقوة وكمية الدفع . فالمجال الرئيسي لهذا العلم الهام هو إمكانية البحث في الشروط والقواعد التي يمكن لقوى الإنسان أثناء حركته من القيام بعمل نافع ، فدراسة هذا العلم تتيح لنا الفرصة لمعرفة شكل الحركة بل وتوقع الأخطاء والعمل على تلافيها مقدماً ولما كانت الحركة تؤدى في ظروف مختلفة . إذاً وعن طريق هذا العلم يمكن معرفة شكل الحركة في مختلف الظروف . فلقد استعان الإنسان منذ وجوده بالحركة في كسب رزقه بل إنها كانت وسيلته الوحيدة لقيامه بالدفاع عن نفسه وللمحافظة على حياته واستمرارها ومع تقدم المدنية حلت الآلة محل الحركة البشرية مما أدى إلى ارتفاع نسبة الوفيات وذلك بسبب إصابات القلب ، فمن المعروف أن قلة الحركة تلعب دوراً كبيراً في أمراض القلب والدورة الدموية ، ولا شك أنه يجب على الأفراد الذين يعيشون في المجتمعات الصناعية تقوية قلوبهم عن طريق ممارسة الرياضة ، فرياضة التوازن البسيطة تساعد في المحافظة على الصحة ومن الطبيعي أن ذلك لا يقتصر على تقوية عضلات القلب فحسب بل ويساعد أيضاً على تليين الجهاز الحركي للجسم الذي يشكو بدوره ، من قلة الحركة والتمرين وخاصة ما كان متعلقاً بمساعدة العمود الفقري على الحركة بالإضافة إلى الجزء العلوي من الجسم والذي يشمل الرقبة والكتفين وأيضاً الفقرات العنقية والقطنية .

والحركة البشرية بصورة عامة متداخلة متشابكة فهي لا تتعلق فقط بعلم الميكانيكا ولكنها تتداخل وتتشابك مع العلوم الأخرى كعلم الفسيولوجيا وعلم البيولوجيا وأيضاً علم النفس ، وفي هذا المرجع نتناول الحركة البشرية من الناحية الميكانيكية بصورة عميقة مروراً بالعلوم الأخرى حيث أفردنا لها مراجع أخرى تتعلق كل منها بعلم من هذه العلوم .

ويحتوي هذا المرجع على ثمانية فصول هامة يرتبط كل منها بالآخر ولا يمكن الفصل بينها ولكن لسهولة الإطلاع والمعرفة ولبساطة الأسلوب العلمي جاءت بهذه الصورة .

فاننا نعرف أنه لم تعد المادة مثلا شيئاً يغاير الطاقة فهذه من تلك وأصبح يقال أن كتلة أي جسم تزداد بازدياد سرعته وأنه يتقلص تماماً إذا بلغت سرعته سرعة الضوء . وليس هناك أيضاً وجود للزمان والمكان المطلقين فالزمان لا وجود له إلا في مكان معين والمكان لا وجود له إلا في زمان معين الأمر الذي جعل الطبيعة في هذا التصور لا تقتصر على الأبعاد الثلاثة المعروفة من طول وعرض وعمق بل أصبحت تتألف الآن من أربعة أبعاد بعد إضافة البعد « الزمان المكاني » .

فقوانين الطبيعة ثابتة من حيث النظرة الإجمالية فقط أما بالنسبة للنظرة التفصيلية لكل ذرة على حدة فالقوانين هنا احتمالية بحتة .

وإن ظهر للقارىء العزيز انتقالنا في هذه المقدمة من موضوع إلى آخر فهذا إن دل على شيء إنما يدل على الحركة البشرية والتي تعرف بأنها كل انتقال أو دوران للجسم أو لأحد أجزائه سواء كان بغرض أو بدونه ولا بد للحركة سواء أكانت انتقالية أو دائرية أن يكون لها سرعة ثابتة أو متغيرة ، ولسوف نعالج هذه الأمور في هذا المرجع لنقترب قليلاً من بحر المعرفة الطامي الذي لا أول له يعرف أو نهاية تدرك وكل الذي يستطيعه الإنسان أن يظل طافياً على سطح البحر وأن يعب من مائه العذب ما وسعته القدرة أن يعب فالوصول للقاع يكاد يكون مستحيلاً فالمعرفة لا قاع لها ، وهذا المرجع المتواضع لمعرفة محدودة بهذا العلم المتشعب ما هي إلا نتيجة لتجربة عملية وعلمية عايشتها سنوات راجياً من الله أن يحوز هذا المرجع المتواضع رضاء القارىء العزيز .

ولا يفوتني أن أتقدم بالشكر كل الشكر وبالتقدير إلى الأخ الصديق

الأستاذ المهندس عليان عطية الزعلان للمعونة الصادقة والتوجيهات الرشيدة التي قدمها إلي بالإضافة إلى المناقشات البناءة التي جرت بيننا حول المادة العلمية لهذا المرجع بالإضافة إلى ملاحظاته السديدة التي أدت إلى أن يخرج بهذه الصورة العلمية وبهذا الأسلوب الميسر .

وفقنا الله جميعاً لخدمة وطننا العربي الكبير .

محمد عادل رشدي

طرابلس في ١٩٧٧/١/١ م

الفصل الاول

تعريفات اساسية

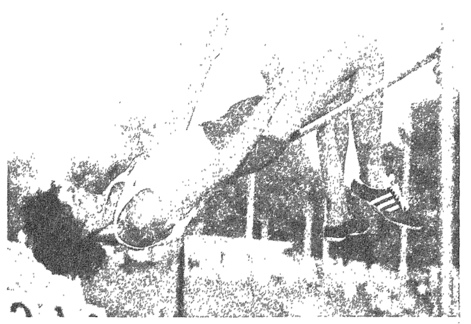
FUNDAMENTAL IDEAS

تعريفات أساسية :

إن أي محاولة لدراسة أو وصف أو شرح أي ظاهرة معينة لموضوع ما لا يمكن شرحها ووضعها في سطور بسيطة فلا بد من أن نضع في حسابنا التفاعلات أو التركيبات المشتركة للملاحظات والخبرات التي تتصل اتصالاً وثيقاً بالموضوع وذلك للتوصل أو الوقوف على الحقائق العلمية .

فعلى سبيل المثال في علم الميكانيكا لا بد من وجود الترابط العضوي بين الموضوعات بعضها ببعض فدراسة القوة لا بد أن يرتبط بالدفع كما يرتبط أيضاً بالطاقة فهذه العوامل نجدها مترابطة لدى العقل البشري وتعرف باسم المجهود .

ولنضرب مثلاً على ذلك . نقطة ارتكاز القدم على الأرضية في حالة الوثب العالي High Jmp حقيقة ليست نقطة على الإطلاق ولكنها مساحة صغيرة يغطيها سطح القدم ولكن لو أهملنا الضغط المتغير للقدم على هذه المساحة وكذلك التأثير الدوراني للقدم في هذه الحالة يمكن اعتبار تلامس سطح القدم مع الأرض نقطة .



الجزيئات والأجسام الحقيقية : Particles and real bodies

إن التباين بين الوضوح والدقة سنوضحه في حالة شرح لعبة «الكوركيت» والتي يمكن اعتبارها موضوعاً للمناقشة ومثل هذه المناقشة ربما تزيل كثيراً الغموض المتعلق بهذه اللعبة .

لو نظرنا إلى حركة أي جزء من المادة وعرفنا سرعة الكرة في هذه الحالة فان الكرة تتركب من عدة جزئيات وللكرة سرعة معينة فان سرعة أي جزء في الكرة هي سرعة الكرة نفسها وسرعة أي جزء من المادة هي معدل التغيير في المسافة التي يقطعها هذا الجزء في طريقه في زمن معين . هذا لو أهملنا الاحتكاك الناشيء بين سطح الكرة والأرض ودرسنا فقط سرعة الجزء الموجود في مركز الكرة (السرعة الطولية فقط) .

قوانين الحركة : Laws of Motion

إن أهم وظائف علم الميكانيكا هو وضع قوانين ستساعدنا على دراسة

الأجسام عن طريق جزئياتها وبالتالي يسهل معرفة حركتها ومعاملتها . وهذه الحركة التي نلمسها في حياتنا اليومية كحركة الكواكب والمجرات [1] تعتمد على قوانين ثلاثة تسمى قوانين نيوتن للحركة :

القانون الاول للحركة : The first Law

إن أي جسم سواء كان في حالة سكون أو في حالة حركة بسرعة منتظمة[2] في خط مستقيم يبقى على وضعه ما لم توثر عليه قوة خارجية تغير من حاله .

يتبين من هذا أن أي جسم ساكن سيبقى ساكناً دون حركة ما لم توثر عليه بموثر خارجي ليحركه . وكذلك إذا كان الجسم يسير بسرعة منتظمة سيبقى كذلك على سبيل المثال كالسيارة ستبقى تسير بسرعة منتظمة مالم تزيد كمية الوقود اللازم لتغيير سرعتها .

وفي الواقع فان كرة القدم المدفوعة تصل إلى السكون بعد دحرجتها في كل مرة مع إمكان ملاحظة أن الكرة تتدحرج مسافة أكبر بكثير على سطح

---

(١) من المعروف ان أقرب نجم الينا بعد الشمس يعادل بعده ٢٦٠٠٠٠٠ مرة بعد الشمس عنا التي تبعد عنا ٩٣ مليون ميل ونستطيع أن نرى المجرة في الليالي الصافية وكأنها غبار ابيض أو سحب خفيفة على رقعة السماء وقد أسماها القدماء طريق التبانة والمجرة هذه هي التي تؤلف المجموعةالشمسية احدى ذراتها اذ انها تحتوي على مائة مليون نجم موزعة فيما يشبه القرص المفلطح الرقيق نسبياً . ويقول هربرت سبنسرجونز أن الضوء يستغرق مائة ألف سنة ضوئية ليصل بين طرفي المجرة فالضوء يسير بسرعة ١٨٦٠٠٠ ميل في الثانية أو ٣٠٠ ألف كيلومتر وعلى هذا فان السنة الضوئية تعادل ١٠ مليون كيلومتر .

وليست هذه المجرة التي تبلغ هذا الحد من الضخامة التي لا يقوى العقل البشري على استيعابها الا واحدة من كثيرات لم يحصها العد وبقي أن نعرف أن أقرب مجرة لمجراتنا تبعد ٧٠٠ ألف سنة ضوئية .

(٢) السرعة المنتظمة : هي المعدل الثابت لتغيير المسافات بالنسبة للزمن .

أملس منها على سطح غير مستو حيث يسبب ذلك مقاومة كبيرة للحركة ونستنتج من ذلك أن قوى الاحتكاك ومقاومة الهواء هي سبب تغيير سرعة الجسم المتحرك على سطح أفقي فاذا استطعنا أن نخفف من قوى المقاومة نقترب شيئاً فشيئاً من الحركة المنتظمة أما في الأحوال المثالية عندما نستطيع التغلب على المقاومة تماماً فان الجسم يتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم . أما في الحالات الخاصة التي تكون فيها السرعة صفراً فان الجسم يبقى في حالة السكون إذا لم تؤثر عليه قوى تلزمه بتغيير حالته .

إذن من هنا يمكن تعريف القوة على أنها أي مؤثر خارجي يغير من حالة الجسم من سكون أو من الحركة المنتظمة .

تأثير القوى الخارجية : Effect of extraneous forces

دعنا نناقش هذه الحالة من الناحية الفلسفية ، كيف يمكن للجسم أن يبقى ساكنا لأن القوى والأجسام ضرورية لحياتنا اليومية ، يمكن تفسير ذلك — فمن المعروف أن كل جسم يتكون من مادة والمادة لا تفنى ولا تخلق من عدم أي أن المادة شيء ملموس وبالتالي لها وزن والوزن عبارة عن قوة . هذه القوة تحفظ الجسم في وضع سكون عند وضعه على سطح منضدة أو على الأرض مثلاً : ولكن قد نتساءل لماذا لا تؤثر هذه القوة على المنضدة — الواقع أنها تؤثر على المنضدة فتحدث قوة أخرى معاكسة لها في الإتجاه ومساوية لها في المقدار هذه القوة المعاكسة ووزن الجسم متساويان وبالتالي سيبقى الجسم في وضع السكون وذلك على سبيل المثال كالميزان فاننا نضع في كفة الميزان قوى تعاكس الوزن في الكفة الأخرى حتى تتساوى الكفتان في وضع الإتزان لتكون القوتين متساويتين في كفة الميزان أما في حالة حركة الجسم في سرعة منتظمة فان القوة التي تحرك الجسم للامام بسرعة منتظمة تكون مساوية للاحتكاك الناشيء عن الحركة على سطح أفقي والمقاومة لحركة الجسم كافية لتحريك الجسم .

أي أن القوة تنقسم إلى :

أ ــ احتكاك .

ب ــ مقاومة الحركة .

ج ــ قوة الدفع للامام .

الوزن والكتلة : Weight and mass

صعوبتنا الحالية في هذه المشكلة سنوضحها عن طريق تركيز أذهاننا نحو عيار وزنه ١٦ رطلاً ونحاول تغيير حالته من السكون حيث أنه موضوع على مستوى أفقي أملس لو جذبناه إلى أعلى بقوة مقدارها ١٦ رطلاً فاننا نلاحظ أن الجسم لا يتأثر بذلك ، ولكن قوة أفقية بسيطة جداً ستجعله يتحرك على المستوى إلى الأمام ببطء .

في هذه الحالة فان فضولنا يدفعنا لمعرفة تثاقله ولكن ألا يكون لنا دراية بكتلته أو قوة طرده المركزي وسنتعامل معه على أنه وزن وليس كتلة ولو قمنا باجراء تجربة عملية وذلك باستخدام كيس من الرمل ونعلقه من أعلى في نقطة ارتكاز ثابتة سنرى بوضوح ميل الجسم لمقاومة أي إزاحة أفقية سريعة من وضع السكون أو في حالة وضع المرجحة حول نقطة ارتكازه يميناً أو يساراً رغم محاولتنا لوقفه بسرعة هذه المقاومة تعتمد على كتلة (الجسم) أو خاصية من خواص الكتلة وليس الوزن الذي اختفى في هذه التجربة عن طريق نقطة ارتكاز .

القوة والعجلة : Froce and acceleration

إنه من الأهمية بمكان أن ندرك أن خاصية القصور الذاتي (قوة الاستمرار تظهر غالباً في حالة ما يكون الجسم في حالة (عجلة) أو سرعة تزايدية وهي القوة التي تقاوم السرعات العالية نحو الوقوف االمفاجيء (لا يمكن

أن تسمح للجسم بتغيير مفاجيء للسرعة) ما لم تبذل قوة جبارة للتغلب على قوة القصور الذاتي (الاستمرارية) .

والمثال على ذلك يظهر بوضوح في قدرة بعض لاعبي كرة القدم على إمكان امتصاص الكرة والسيطرة عليها وذلك عن طريق زيادة وقت توقيف الكرة وكذلك تقليل سرعة الإرتداد للكرة ونفس الشيء بالنسبة للاعبي الجمباز عن طريق الاستخدام الجيد لمفاصل القدمين عن طريق ثنيهما في لحظة الهبوط مما يقلل من ... الصدمات بالأرض .

والعجلة غالباً ما تكون مصاحبة للقوة ولكن للحفاظ على حالة الجسم بسرعة منتظمة في خط مستقيم ، بدون أي مقاومة تتطلب عدم وجود قوة ولكن بالتخمين فان الحالة التي يتمتع بها أي جسم مادي في الفراغ بعيداً عن تأثير الجاذبية ما لم يكن مفهوماً لدينا بوضوح أنه من المستحيل تقدير الأسس الديناميكية لأي تكوين فيزيائي . لذلك فانه من الضروري إدراك أن القوة هي المسببة للتغيير في حركة الجسم ولكن ليس لاستمراريته المنتظمة من حيث السرعة أو النقصان .

القوة الخارجية الصرفة : Nett external Force

منذ خلق الحياة وهناك قوى كالأوزان والمقاومات التي تؤثر على الأجسام موضع الدراسة والقوة الحدية أو القوة النهائية (تعني بها القوة المحصلة) فالقوة الخارجية هي تلك القوى التي تأتي من الخارج وتؤثر على جسم الإنسان وأن تأثير هذه القوى والقوى المضادة، لها تسلط على جسم الإنسان والمحيط الذي هو فيه والقوى الخارجية هي :

١ – الجاذبية الأرضية .

٢ – قوى جسم آخر (زميل – خصم – أدوات) .

٣ ـ قوى مقاومة من المحيط (مقاومة الماء ـ الاحتكاك ـ مقاومة الهواء ـ رد فعل الارتكاز) .

ونعود لمثالنا السابق فالعيار ١٦ رطلاً يبقى على وضع سكون على السطح وفقاً للقانون الأول للحركة وذلك لإلغاء وزنه عن طريق الدفع رد الفعل حافظاً إياه في وضع توازن لعدم وجود قوة محصلة لتغير من وضعه .

ويتضح أن القوى التي تؤثر على الجسم هي التي تسمى بالقوى الخارجية. أما القوى الداخلية فهي عبارة عن فعل ورد فعل بين أجزاء الجسم وليس لها تأثير على حركة الجسم ككل وعلى العموم قد تكون سبباً في التأثيرات الدورانية للجسم كما سنوضح ذلك فيما بعد والقوى الداخلية هي :

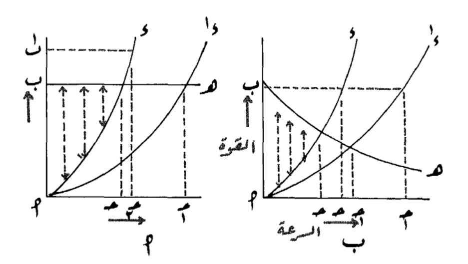
ـ قوى العضلات .

ـ قوة رد الفعل الداخلية أي مقاومة المفاصل والأوتار .

مقاومة حركة الجسم : Resistance to a Body's Motion

السرعة الخطية ـ قوة حركية ثابتة Terminal speed constant driving force

إذا تحرك جسم في وسط مادي (هواء ـ ماء) فان هذا الوسط يقاوم حركة الجسم خلاله عن طريق مقاومة تعرف باسم مقاومة الهواء أو الماء أو تعطيل drag وهذه القوة تعتمد على درجة توزيع الوسط أثناء الحركة فتزيد المقاومة عندما تزداد سرعة الجسم في الوسط (كما هو موضح بالشكل رقم (١) أ) وهو يوضح حركة الجسم غاطس ـ رأسياً إلى أسفل من السكون على سبيل المثال من بالون ساكن تحت تأثير قوة ثابتة (قوة الوزن) يمثل في الرسم بالخط أ ب . ففي البداية تكون هذه القوة قادرة على تحريك الجسم إلى أسفل والغاطس يتحرك بعجلة تزايدية بدون أي مقاومة ، وعندما تزيد السرعة تزيد مقاومة الهواء ويستمر الغاطس بسرعة تزايدية تحت تأثير قوة محصلة مساوية (لوزن الجسم ـ مقاومة الهواء) كما هو موضح بالرسم :



الشكل (١)

والمحصلة في هذه الحالة هي زيادة السرعة وتزداد تدريجياً حتى تصل إلى قيمتها النهائية (الحدية) عند السرعة الحدية (أ ج) التي عندها تكون المقاومة مساوية لوزن الجسم وبالتالي فان القوة المؤثرة = صفر المنحنى (أد) يوضح الخلخلة في الوسط التي تسببها حركة الجسم في وضع خط مستقيم أو حركة طولية وفي حالة الغاطس فان هذا يعني زيادة مدة إنهاء القوة القيادية **driving force** حتى تصل إلى سرعة خطية أعلى من الأولى تمثل في الوضع أ ج ١. ولو أضفنا حملاً آخر للغاطس بدون تغيير مواصفات مقاومة النزول يزيد وزن الغاطس كالموضح في أ ب ١ في شكل (١) ــأــ .

وبالتالي السرعة الخطية ستزيد إلى الوضع أ ج٢ هناك تغير حقيقي ولكن غير هام .

السرعة الخطية ــ قوة السحب العضلي : Termind speed musculer driving force

في كافة الحركات الفيزيائية العضو الأسرع يعطي حركة قيادية صغيرة

للأجسام المحيطة والأصغر بالتالي رد الفعل الدفعي الذي يكتسبه الجسم من الأشياء المحيطة .

وعليه فانه في حالة حركة الإنسان أو الحيوان من السكون في وسط مادي فان محور القوة القيادية لا يكون ذي قيمة ثابتة كما هو في شكل (١) (أ) ولكنه سينقص من القيمة القصوى « أ ب » كلما زادت السرعة ويتضح ذلك بالمنحنى (ب هـ) في شكل (أ ب) وإزالة هذا التغير في القوة القيادية مبكراً عنه في حالة تمثيل السرعة بالخط أ جـ عنه من أ جـ١ وفي الشكل أ ب والذي يوضح تأثير السرعة الخطية (أ جـ١) عندما تصبح أقل من (أ جـ١) فلسوف تنشأ قوى ثابتة في هذه الحالة .

الكيمات القياسية والموجهة : Scalars and vectors

السرعة ــ التسارع : Speed and velocity

لقد اعتدنا أن نقول أن السرعة والتسارع لهما نفس المعنى وهو المعدل الذي نقطع به مسافة معينة وتقاس غالباً بالقدم / ثانية أو كيلومتر / ساعة... الخ ولكن يجب أن نعرف أن هناك فرقاً بينهما ميكانيكياً حيث التسارع ما هو إلا المسافة المقطوعة من الجسم في وحدة الزمن خلال الطريق الذي يسلكه بدون مراعاة الإنتظام فيه .

ولكن السرعة هي المعدل الذي يغير فيه الجسم وضعه في اتجاه معين وعلى سبيل المثال فان الاجراءات التي يتخذها لاعب الماراثون (العداء) فانه يعتمد على السرعة التي يقطع بها مناطق معينة من الجري وهذا الحكم على مقدار السرعة وليس على الاتجاه المتخذ وخـــلال الجري فانه سيجري بسرعات مختلفة وفي اتجاهات متعددة ، وفي كل لحظة سيكون له سرعة ما وعليه فان هذا اللاعب دائماً له سرعة لحظية وهي السرعة لحظة القياس وهي بالطبع تتغير مع معدل حركته واتجاهه .

اذن السرعة اللحظية تعتمد على قيمة واتجاه الحركة اي ان السرعة اللحظية تحدد بمقدار واتجاه .

اي ان السرعة دائماً تحدد بقيمة واتجاه الحركة ، بينما التسارع يحدد بالقيمة فقط .

وعليه فانه يمكننا ان نستبدل كلمة السرعة في القانون الاول للحركة بكلمة التسارع وذلك عن طريق ان القوة المؤثرة تغير فيه قيمة السرعة بينما الاتجاه ثابت او تغير اتجاه الحركة بينما السرعة ثابتة او عن طريق تغيير السرعة .

وهذا الفرق بين كمية السرعة (التسارع) والسرعة كمتجه يوضح الفروق الطبيعية بين الكميات القياسية والكميات الموجهة .

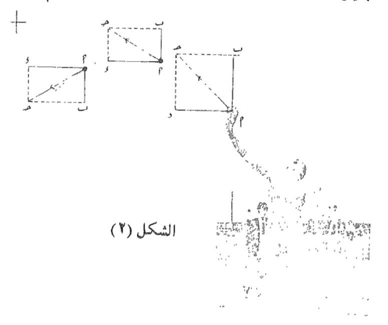
حيث الكمية القياسية : هي الكمية التي تعرف بقيمتها فقط كالوزن مثلا والحجم .

اما الكمية الموجهة : هي تلك الكمية التي تمتلك مقداراً واتجاهاً كالسرعة مثلاً ٢٠ كلم/ساعة في اتجاه الشرق وايضاً العجلة ، وكمثل حركة جسم بالنسبة لنقطة ثابتة فان الوضع الجديد للجسم يمثل في هذه الحالة بخط من النقطة الثابتة ب ووضع الجسم لحظة الدراسة .

المتجهات والتركيب الهندسي لها

الحقيقة القائلة ان الخط المستقيم ما هو الا متجه ذي قيمة واتجاه تجعلنا نمثل اي موجه بخط مستقيم وما علينا الا رسم خط مستقيم يمثل الاتجاه لهذا المتجه والقيمة له عند لحظة الرسم ولدراسة طبيعة الموجهات دعنا نأخذ مثالاً عملياً على ذلك وندرس حركة طلقة نارية في لحظة اطلاق القذيفة في اتجاه ما ولنأخذ زاوية عن الافقي أو الراسي شكل (٢) لو افترضنا ان سرعة القذيفة هي ٤٥ قدم / ث فان الخط المستقيم (أ ج) يمثل هذه القيمة من حيث

الاتجاه بزاوية ما (معروفة لدينا) عن الافقي وكذلك طوله يمثل ٤٥ وحدة قياس من مقياس الرسم التي تمثل ٤٥ قدم ث وعليه يوضع سهم في اتجاه (أ جـ) يعين لنا اتجاه الحركة الموجهة (٧) كما في شكل رقم (٢) .



الشكل (٢)

واحدة من الخصائص الاساسية للمتجه موضحة اذا عرفنا حقيقة ان الطول (أ جـ) يمثل السرعة لحظة القياس أي انه يصف هذه السرعة تماماً بنفسه مع العلم ان هناك موجهات اخرى مصاحبة له يمكن رسمها لو اردنا ذلك . وهذا يمكن ان يفيد ذلك لان الطلقة تتحرك في اتجاهات معينة في نفس الوقت يتغير وضعها في الاتجاه الرأسي الى اعلى وكذلك الاتجاه الافقي وعليه فانها تتحرك الى اليمين كما في شكل (٢) ومركبات السرعة هذه تمثل ايضاً بخطوط مثل (أ ب ، أ د) في الاتجاهات المناسبة لحركة القذيفة وهذه تكون بطول معين يتلاءم مع ارتفاع القذيفة رأسياً الى النقطة (جـ) وكذلك أفقياً الى وضع هذه النقطة ايضاً ووضعها يمثل اضلاع مربع طول ضلعه ٣٢ وحدة .

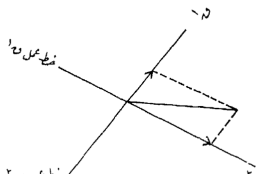
تحليل المتجهات :

كما هو مبين في الشكل السابق فان المتجه (ج د) يمكن تحليله الى مركبتين واحدة في الاتجاه الافقي (أ د) واخرى في الاتجاه الرأسي (أ ب) مع مراعاة أن د أ+بَ أ=ج أ ولو اهملنا مقاومة الريح بالنسبة لوزن الطلقة فانه يمكن اعتبار ان المركبة الافقية (أ و)ثابتة بينما المركبة الرأسية(أ ب) تتغير فانها تقل كلما ارتفعنا الى اعلى الى ان تصل القذيفة الى اعلى ارتفاع لها فانه عند هذه النقطة تكون السرعة الرأسية لها صفر بينما تملك سرعة افقية . عند هذه النقطة تبدأ القذيفة في الهبوط تحت تأثير وزنها الى اسفل وتبدأ السرعة الراسية في التزايد الى اسفل كما هو موضح بالشكل رقم (٢) ونظراً لان وزن الطلقة ثابت فان معدل تغير المتجه (أب) الى اسفل يكون كذلك ثابتاً .

جمع الموجهات

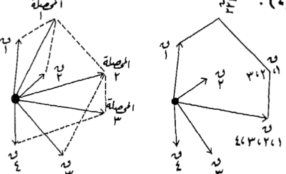
الشكل الهندسي يوضح العلاقة بين الموجه ومركبته الافقية والرأسية تكون غالباً اما مربع أو مستطيل ولكن هذه حالات خاصة ، وحيث انه يمكن تحليل الموجه الى مركبتين تقع في مستواه وفي هذه الحالة يكون الشكل متوازي اضلاع القوى .

فلو اثرت عدة قوى على جسم ما في نقطة واحدة وكانت في مستوى واحد فانه يمكن اختزالها الى قوة محصلة واحدة عن طريق تطبيق قاعدة متوازي اضلاع القوى مع القوتين ق$_{١}$ ، ق$_{٢}$ وايجاد محصلتهما ثم نكرر التطبيق مع (ق$_{٣}$) والمحصلة (١) فنختزل كذلك القوى ق$_{١}$ ، ق$_{٢}$ ، ق$_{٣}$ ، الى المحصلة(٢) وهكذا حتى نحصل على المحصلة النهائية للاربع قوى كما هو مبين بالشكل رقم (٣) .



الشكل (٣)

وهذه الطريقة يمكن اتباعها مع عدد من القوى المعلومة المؤثرة في نقطة واحدة وفي مستوى واحد ، كما انه يمكن الحصول ايضاً على المحصلة عن طريق المجمع الهندسي على التتابع للمتجهات الحرة الممثلة للقوى المعلومة شكل رقم (٤) .



الشكل (٤)

وفي هذه الطريقة نبدأ بالمتجه الذي يمثل ق١ حيث ترسم من نهاية المتجه الذي يمثل ق٢ ثم بعده المتجه الذي يمثل ق٣ واخيراً المتجه الممثل ق٤ ومن نهاية ق٤ وبداية ق١ اي الضلع القافل للقوى ويسمى المضلع بمضلع القوى ويكون اتجاه المحصلة دائماً من بداية ق١ الى نهاية ق٤ .

ونستنتج من هذا ان المحصلة لقوتين على استقامة واحدة وفي اتجاه واحد تساوي المجموع .

السقوط الحر : Free fell

منذ زمن بعيد كان سقوط الاجسام من الموضوعات التي كانت

تشغل اهتمام الفلاسفة فلقد اوضح ارسطوطاليس ان الحركة لاسفل لاي جسم قد وهب وزناً اسرع بما يتناسب مع حجمه، ثم جاء جاليليو جاليلي حوالي ١٥٦٤ — ١٦٤٢ وهو عالم ايطالي مكتشفاً الحقيقة وعارض ما ذكره ارسطوطاليس بأن الجسم الاثقل يسقط اسرع وكان هذا الرأي ذائع الصيت خصوصاً لو احضر احداً ريشة طير وكرة من الحديد وقام باسقاطهما في لحظة واحدة من ارتفاع واحد فسوف تصل الكرة قبل الريشة بكثير .

ولكن اذا قمنا بوضع الريشة في انبوبة مفرغة من الهواء لرأيت ان الريشة والكرة تصلان الى الارض في وقت واحد . ذلك لاننا عزلنا مقاومة الهواء على الريشة كما حدث في حالة وضعها في انبوب مفرغ ذلك ان تأثير الهواء عليها في الحالة الاولى كان كبيراً .

ومن المعروف عن جاليليو انه اوضح نتائجه على الملأ بأن اسقط جسمين في آن واحد احدهما اثقل بكثير من الجسم الآخر وذلك من قمة برج بيزا المائل ولقد وصلا معاً الى الارض بالرغم انه لم تكن هناك أجهزة قياس لقياس أزمنة الاجسام الساقطة سقوطاً حراً بصورة دقيقة . ولقد اضاف جاليليو نتيجة بأن بين ان طبيعة حركة كرة تتدحرج هابطة على مستوى مائل هو نفس طبيعة حركة كرة تسقط سقوطاً حراً . ولكن الذي يحدث هو ان الكرة اثناء سقوطها على مستوى مائل فان عجلة الجاذبية الارضية الفعالة قد تم انقاصها ولذلك نلاحظ ان الحركة بطيئة .

وعليه يمكن ان نلاحظ ما يلي في حالة جسم ساقط نحو الارض يتحرك بعجلة ثابتة تقريباً :

١ — في حالة عدم وجود مقاومة للهواء تسقط كل الاجسام بغض النظر عن حجمها او شكلها او وزنها عند نفس النقطة من سطح الارض اذا سقطت من نفس المكان .

٢ ــ في حالة ما اذا كانت المسافة التي يسقط منها الجسم غير كبيرة فان العجلة* تظل ثابتة أثناء السقوط ويمكن ان نطلق عليها السقوط الحر لأنها حركة مثالية .

وتسمى عجلة الجسم الساقط سقوطاً حراً بعجلة الجاذبية او عجلة التثاقل (Gravity .

ومتوسط مقدارها بالقرب من سطح الارض هو ٣٢,٢ قدم / ث٢ تقريباً أو ٩,٨١ / ث٢ او ٩,٩٨١ سم / ث٢ واتجاهها الى اسفل في اتجاه مركز الارض ويجب أن نعلم ان هذه القيمة اي قيمة العجلة* تتغير مع خطوط العرض كما تتغير مع الارتفاع .

السقوط الحرّ في الحركة البشرية

من أحد التأثيرات الهامة جداً للوزن والتي يجب الا تغيب عن بالنا هي انه لحفظ توازن جسم ما في الفراغ لا بد من تطبيق قوة مساوية لوزن الجسم الى أعلى لحفظه من السقوط او لتحريكه الى اعلى حركة بسيطة .

وعليه يلاحظ انه لو ترك جسم حراً بدون اي قوة خارجية مؤثرة عليه فان الجسم يهبط الى اسفل تحت تأثير وزنه وبدون اي مقاومة عليه . ويلاحظ ان سرعة الجسم تزداد كلما اقترب من الارض ويصبح معدل تغير السرعة ٣٢ قدم / ث لكل ثانية من الحركة لاسفل اي انه في الحركة الحرة الى اسفل فان كل الاجسام ستتحرك بنفس المعدل في لحظة معينة او مسافة معينة .

هذه الظاهرة يمكن ارجاعها الى شيء واحد هو ان وزن الجسم (قوة

(*) العجلة : هي معدل تغير السرعة بالنسبة للزمن .

العجلة المنتظمة : هي مقدار التغيير الثابت الذي يحدث للسرعة في كل وحدة زمنية او هي المعدل الثابت لتغيير السرعة بالنسبة للزمن .

جذب الارض له) تتناسب مع القصور الذاتي . وبالتالي فان قوة جذب الجسم الى اسفل اكبر من كتلته وتتناسب معها .

وعليه فاننا لو قذفنا جسماً كتلته ١٦ رطلاً وآخر كتلته ١٢ رطلاً من نفس المكان من نقطة مرتفعة عن سطح الارض على الرغم من اختلاف الاوزان وتكون لهما نفس السرعة على سطح الارض زمن وصولهما واحد الى الارض هذا لو اهملنا مقاومة الهواء .

السرعة والعجلة :

سبق ان تكلمنا عن زيادة سرعة الاجسام عندما تتحرك رأسياً الى اسفل وكذلك عن النقص الحاصل في السرعة عندما تتحرك الاجسام الى اعلى ولاحظنا ان الزيادة في السرعة مساوية تماماً للنقص في هذه السرعة عندما يتحرك الجسم الى اسفل تحت نفس الظروف ، ويرجع ذلك لسبب واحد وهو قوة وزن الجسم .

هذا ومن الواضح والمقنع جداً ان اتجاه عجلة الجسم يكون غالباً مع نفس الاتجاه بالنسبة للقوة المؤثرة ، وعليه فللمعرفة ان الاجسام التي تتحرك بحرية تحت تأثير وزنها (عجلة الجاذبية الارضية) غالباً ما تكون في حالة تسارع (سرعة تزايدية) الى اسفل، هذا يعني ان هناك تقصير في حالة حركتها الى اعلى مساوياً تماماً للتسارع في حالة الحركة الى اسفل اي ان التقصير عبارة عن تسارع بالسالب .

من هنا نتأكد ان معظم الاجسام التي تتحرك تحت تأثير الجاذبية الارضية مهما يكن اتجاه حركتها — فهي تتأثر دائماً بعجلة مشتركة رأسياً الى اسفل مساوية حوالي ٣١ قدم / ث٢ أو ٩,٨ متر / ثانية ٢ وهذا هو العامل المؤثر على التغير المنظم في قيمة متجه السرعة في شكل (٢) هذا التغيير الذي يجعل السرعة في أقصى ارتفاع مساوياً صفر ، ثم تبدأ في الزيادة في الاتجاه لأسفل .

في هذه المرحلة فانه من المقنع ان نعرف حقيقة هامة وهي ان سرعة الاجسام وعجلاتها منفصلة عن بعضها كلية . وانه لمن الاهمية عند دراسة طبيعية حركة الاجسام ميكانيكياً فالسرعة ليست الشيء الوحيد الذي يجب ان نعرفه لان السرعة يمكن معرفتها عن طريق القوة المؤثرة على الجسم ولكن المهم هو معرفة العجلة لانها تحدد تماماً عن محصلة القوى المؤثرة على الجسم حالياً .

واستنتاج آخر يهمنا في حالة السقوط الحر (لحركة حرة الى اسفل) على اعتبار هذه التسمية صحيحة يجب ملاحظة ان الشرط ليس فقط في حالة سقوط الاجسام دائماً في حالة حركة الاجسام بطلاقة في اي اتجاه تحت تأثير حركة الجاذبية الارضية فقط .

مثل هذه الاجسام لها سرعات متعددة وفي اتجاهات مختلفة ولكن عجلتها تكون غالباً رأسياً الى اسفل وبجوار سطح الارض وهذه القيمة يرمز لها دائماً بالرمز (≥ عجلة الجاذبية الارضية ٣٢ قدم / ث٢ ، ٩,٨ متر / ثانية)

انعدام الوزن الظاهري Apparent weight lessness

يمكننا الان اعتبار ان هناك فروق بين الحالة الديناميكية لجسم انسان واقف في حالة سكون على الارض وعليه فان وزنه يكون محمولاً على قدميه ونفس الجسم في نفس الوضع والظرف يقفز او يسقط سقطة حرة في الهواء ممكن من « الترامبولين » وبالتالي ففي الحالة الاولى الجسم غير معجل لان قوة الجاذبية المؤثرة عليه (وزنه) يكون مساوياً لرد الفعل بين الارض والجسم. وعليه فان حالة الغاء الوزن الناتجة عن قوة رد الفعل بين الارض والجسم ليست هي الحالة الوحيدة ، لانه لو تخيلنا اننا اخذنا مقطعاً افقياً في جسم الانسان فــان وزن كل جزء من الجسم فوق المقطع يكون مرتكزاً على جزء آخر اسفل المقطع ونظراً لهذا الاتساع المتزايد في المقطع فانه يلزمنا اكثر

من نقطة ارتكاز في مستويات مختلفة ابتداء من الرأس الى اسفل . ومن الواضح انه في حالة الجسم الواقف فانه يكون في حالة ضغط تدريجي يصل الى اقصى قيمة له على حذاء اللاعب الذي عليه كل وزنه هذه القوى المتبادلة بين الاجزاء المتجاورة من الجسم وفقاً لوزنها تلغي بعضها البعض في حالة السقوط الحر (مثال ذلك الجسم في الهواء فوق الترامبولين) .

ولقد لاحظنا انه بمجرد ان يقذف الجسم من على نقطة ارتكازه فانه في الحال يقع تحت تأثير الجاذبية الارضية الى اسفل فعندما يصل الجسم الى اقصى ارتفاع له تصبح سرعته صفراً لحظياً ثم يهبط الجسم الى اسفل بتأثير الجاذبية الارضية بسرعة تزايدية .

وأحد النتائج لذلك انه ليس فقط الاجسام المنفصلة التي تقع تحت هذه الجاذبية ولكن ايضاً يمكن عمل تجربة على الاجسام المترابطة فان كل جزء من الجسم المترابط يعمل على (نقطة مادية) جسم منفصل ونفس التأثير بالنسبة لقوى الجاذبية الواقع على الجسم ككل يقع ايضاً على كل جزء منه .

وهذا بدوره يمكننا من القول ان جسم الانسان يتحرك بطلاقة (بحرية) تحت تأثير قوة الجاذبية الارضية ولا يحتاج فقط مرتكزاً لنفسه ككل ولكن لكل جزء منه اي ان قوى الارتكاز بين مقاطع الجسم الافقية الخيالية المختلفة لا تؤثر كثيراً في حالة القفز او السقوط الحر وذلك لان الجسم لا يكون في حالة ضغط كما هو الحال في حالة الوقوف على الارض وعليه لا تكون الاقدام محملة بوزن الجسم لان الجسم يكون في الهواء وعليه فيمكن اعتبار ان مكونات الجسم في حالة فقدان وزن ظاهرياً وكذلك الأشياء المحمولة مع الجسم في حالة فقدان وزن ، وعليه لو تركت هذه الاجسام أثناء السقوط الحر فانه يمكن ان تواصل رحلتها بدون اي مساعدة خارجية لتأخذ نفس الوضع النسبي بالنسبة للجسم ككل مثل عملية الهبوط (اي تكون على نفس السرعة والعجلة لهذا الجسم قبل عملية الانفصال) اثناء

الطيران يكون الجسم قد اخذ هيئة او شكل ما يمكن ان تستنفذ تحت تأثير تلامس الارض الاستاتيكي .

تجربة الترامبولين : Trampoline Experiments

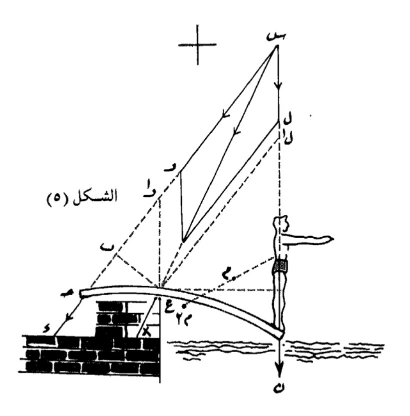
ان حالة انعدام الوزن السالفة الذكر يمكن استغلالها على نطاق واسع في عمل تجارب لاستغلال ظاهر القصور الذاتي ، كما لاحظنا في حالة السقوط الحر على الترامبولين فان الجسم لا يبذل اي مجهود لدعم توازن مكوناته وعليه فمن ناحية أخرى لو ان ذراع الرياضي « اللاعب » تحركت الى الامام او الى اعلى اثناء الطيران فانه ، في حاجة الى بذل مجهود عضلي لحفظ توازنه في بدء الحركة ونهايتها وذلك اثناء القفز الهوائي وبالتالي فان الجسم يجد نفسه مضطراً لتغيير وضعه من حالة الانتصاب الى وضع حر للامام هذه القوى المبذولة لتحرك هذا الجزء واعادة وضعه بالنسبة للاجزاء الاخرى تسمى قوة القصور الذاتي وليست الوزن .

وذلك لان الحركة النسبية تبدأ عن طريق العجلة لجزء من الجسم بالنسبة للاخر وتنتهي الحركة النسبية لو عكست العجلة اي يتحرك الجسم في الاتجاه المضاد، وفي حالة السقطة الحرة لاداعي لارتكاز اي جزء من مكونات الجسم . وهذه القوى عبارة عن قوى داخلية نتيجة الانقباض العضلي .

الفصل الثاني

التأثير الدوراني للقوة

THE TURNING EFFECT OF A FORCE



الشكل (٥)

التأثيرات الدورانية وقانون مضلع القوى :

ان الطريقة العملية المناسبة لتحديد التأثير الدوراني للقوة يتم عن طريق جمع القوى المؤثرة في لحظة الدوران حول نقطة الارتكاز وذلك عن طريق ضرب قيمة القوة في الطول العمودي من نقطة الارتكاز الى خط تأثير القوة ويسمى هذا عزم الإزدواج وهو حاصل ضرب متجهين (القوة × المسافة) وهذان المتجهان يكونان زاوية قائمة بينهما (متعامدان) ويسببان تأثيراً دورانياً حول نقطة الإرتكاز والقيمة الكلية لعزم الإزدواج هي أيضاً متجه للدوران يتكون حول محور حقيقي أو تخيلي ماراً خلال نقطة الإرتكاز وعمودياً على متجه القوة والمسافة أي أنه عمودي على مستوى المنط شكل رقم (٥) .

هناك بعض الإختلاطات أو الإرتباك Confusion حول الوحدات التي يمكن أن تعبر عن عزم الإزدواج ،لأنه لو اعتبرنا أن وحدةالقوة هي وزن الرطل (الباوند) والمسافة بالقدم فان حاصل الضرب سيكون وزن الرطل / قدم ولكن هذا بصفة عامة يختصر إلى التغير رطل / قدم .

والآن لننتظر معاً إلى الموازنة الأستياتيكية للقوى الموضحة في شكل (٥) وزن السباح (ن) رطل في نهاية اللوحـــة يكون عزم الإزدواج عند حافة الحوض (ع) فهذه تحاول أن تدوره هو السباح واللوحة في اتجاه عقارب الساعة حول النقطة (ع) فان قيمة عزم الإزدواج يساوي حاصل ضرب القوة في المسافة أ ع فان الخط (أ ع) مرسوم في وضع أفقي من النقطة (ع) ليقابل تأثير قوة وزن الرجل الرأسية ويكون متعامداً عليها .

ولنفترض الآتي : اللوح مربوط عند طرفه الآخر (هـ) عن طريق حبل مرن مطاطي (جـ د) في الإتجاه الموضح في شكل (٥) . قيمة الشد في هذا الحبل (هـ) رطل أيضاً لها عزم ازدواج حول النقطة (ع) في اتجاه عكس عقارب الساعة ويقاس عن طريق حاصل ضرب القوة (هـ) والطول (ع ب) إذا أهملنا وزن اللوح فانه يمكن القول أن النظام أو المجموعة ستبقى ساكنة بدون حركة حول (ع) في أحد الإتجاهات أو الآخر إذا تساوت قيمة هذين الإزدواجين وبالتالي يلغي كل منهما الآخر .

وعلى أي حال هناك طريقة أخرى للتعبير عن هذه الحالة وذلك أن محصلة القوتين (ع ن) ليس لها عزم ازدواج حول النقطة (ع) وبالتالي فان خط عمل هذه المحصلة لا بد أن يمر بالنقطة (ع) أي أن بعد خط عمل المحصلة عن (ع) هو صفر وبالتالي فان عزم الإزدواج يساوي المحصلة مضروبة في صفر فيساوي صفر. وهذه الحقيقة يمكن توضيحها عن طريق مضلع القوى في شكل (٥) فان الطول (س ل) يمثل الوزن (Wن) والطول (س و) يمثل قوة الشد (هـ) في الحبل المطاطي والمحصلة لهاتين

القوتين هي قطر متوازي الأضلاع المتجه نحو (ع) وهو الطول (س ر) حيث امتداده يمر بالنقطة (ع) .

وعليه فان وزن السباح وهندسة الشكل تمكنا من معرفة قيمة واتجاه الشد في الحبل المتمثل بالطول (س و) وكذلك تعرفنا قيمة القوة × رد الفعل عند النقطة (ع) واللازمة لحفظ هذه النقطة بدون حركة وهـذه القوة هي عبارة عن رد الفعل المساوي لمحصلة قوة الشد + وزن السباح ويمثلها الطول (س ر) وعزم الإزدواج يمثل بالمساحة ، وقواعد حساب عزم الإزدواج يمكن أن نتعرف عليها من متوازي أضلاع القوى وذلك عن طريق خط مقياس الرسم لتنطبق النقطة (ر) على النقطة ع) وهذا يمكن عمله بدون التدخل في الأساسيات .

والآن : عزم ازدواج الوزن (نW) حول النقطة (ع) يساوي (ع أ × ن) هو عبارة عن ضعف مساحة المثلث (س و ع) والمثلث (س و ع) يكافىء المثلث (س ل ع) كل منهما يكافىء $1/2$ متوازي الأضلاع (س ل ع و) وهو عبارة عن حاصل ضرب $1/2$ أحد جوانبه (س و) أو (س ل) في العمودي عليه (ع ب) أو (ع أ) وبهذا يكون قطر متوازي الأضلاع متجهاً نحو (ع) .

ونلاحظ أن النقطة (ع) تبدو أنها أهم نقطة في شكل (٥) التي حولها يحدد دوران اللوح وهذا التوازن لو حصل تحت تأثير هذه القوى فان هذا التوازن سوف يحصل عند أي نقطة في المجموعة .

فكل نهاية من اللوح يمكن اختيارها على سبيل المثال كنقطة ارتكاز أو نقطة توازن ومتوازي أضلاع القوى لها المرسوم لهذه الروافع يمكن اعتبارها تدور حول أي نقطة وليست النقطة الواضحة أو الهامة . أي أنه يمكن اختيار أي نقطة ونرسم مضلع القوى لها واعتبارها نقطة التوازن .

مركز الثقل : Centre of Gravity

محصلة القوى المتوازية : Resultatnt of parallel forces

من دراسة أي وضع مشابه لشكل (٥) فانه يرى بوضوح أن هناك شرطان يجب توافرهما في حالة التوازن الأستاتيكي للجسم :

١ ــ محصلة القوى المؤثرة على الجسم = صفر أي أنه لا تكون هناك أي قوة محصلة تعطي الجسم حركة خطية في أي اتجاه .

(أي يبقى الجسم في حالة من الإتزان أو الثبات إذا أصبحت محصلة القوى المؤثرة عليه = صفر) .

٢ ــ محصلة عزم الإزدواج في اتجاه عقارب الساعة وعكس عقارب الساعة حول أي نقطة وبالتالي حول أي محور تساوي صفر .

في شكل (٥) على سبيل المثال فإن القوى (هـ ،ن) وكذلك قوة رد الفعل على نقطة الإرتكاز (x) تحقق الشرطين السابق ذكرهما لأن x = محصلة القوتين (هـ،ن) وتعمل في نفس الخط التي تعمل فيه محصولة القوتين (هـ ،ن) ولكن غالباً ما يحدث أن تكون معظم القوى التي تعمل في الجسم متوازية وعليه فلها خط عمل منفصل كما هو الحال في الرافعة البسيطة شكل (٦) في هذه الحالة من الصعب تمثيلها عن طريق أضلاع متوازي أضلاع القوى أو أي شكل هندسي ولكن شروط التوازن يجب أن تستمر وتتوافر ، محصلة القوتين إلى أسفل (ق ،و) على سبيل المثال يجب أن تكفي عن طريق

رد الفعل (قوة + وزن) إلى أعلى عند نقطة الإرتكاز (م) ويجب أن تؤثر رأسياً إلى أسفل عند نفس النقطة (م) شكل (٦ أ) .

ولكن عند دراسة حركة الإنسان يقابلنا نظام معقد من القوى المؤثرة عن هذه القوى المتوازية وهي عبارة عن خط متعدد للأوزان الصغيرة لجزيئات الجسم في صفوف متوازية لتكون الوزن الكلي للجسم ، وهذه القوى الصغيرة كلها تعمل رأسياً إلى أسفل ولكن خطوط عملها موزعة على الجسم كله ومحصلة هذه القوى الصغيرة وهو وزن الجسم يكون بحيث أن عزم الإزدواج له حول أي نقطة من الجسم مساوية لعزم الإزدواج لهذه القوى الصغيرة حول نفس النقطة . وعليه فإنه يمر في جميع النقط التي يمكن للجسم أن يكون عندها متزناً استاتيكياً وهي النقط التي عندها أي قوة رأسية إلى أعلى مساوية لوزن الجسم يمكن أن تحفظ الجسم في حالة توازن ونقطة هامة جداً وهي النقطة التي يتزن عندها الجسم في أي اتجاه تسمى مركز الثقل.

ومركز الثقل هو النقطة التي يمكن أن يرتكز عندها الجسم حراً بدون أي مؤثرات خارجية وفي حالة توازن في أي وضع .

وبتعبير آخر فان قوى الجاذبية في نطاق محدود قوى متوازية رأسية تؤثر على جميع الجسيمات التي يتكون فيها جسم ما وإذا كان الجسم متماسكاً فان مركز الثقل أي مركز قوى الجاذبية المؤثر عليه يكون نقطة ثابتة للجسم ويسمى بمركز الكتلة .

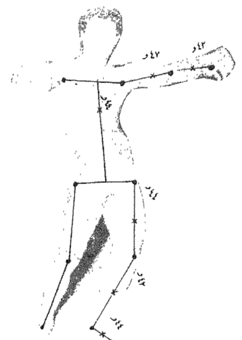
ومن المعروف أن أي أوضاع جديدة يتخذها الجسم أو تحريك أي جزء من أجزاء الجسم يتسبب عنه انتقال مركز الثقل وتناسب مسافة انتقال مركز الثقل مع وزن الجزء المتحرك تناسباً طردياً فكلما زاد وزن هذا الجزء زاد اقتراب مركز الثقل إليه .

ولو أثرت قوة خارجية على الجسم فان الحركة الناتجة تعتمد على العلاقة

بين اتجاه هذه القوة ومكان تأثيرها بالنسبة لمركز الثقل ـ فلو أثرت القوة على مركز الثقل بصورة مباشرة فان الحركة سوف تكون في اتجاه تأثير القوة والتي ينتج عنها حركة الجسم كله دون حدوث أي انقلاب أو دوران . ولكن إذا كان تأثير القوى واقعاً على مكان غير مركز الثقل فسوف تكون النتيجة دوران أو انقلاب يتناسب مع مقدار القوة المؤثرة وكذلك بعدها أو قربها من مركز الثقل .

طريقة نظرية لتعيين مركز الثقل :

يمكن تعيين مراكز ثقل أعضاء الجسم المختلفة على احدى الصور ويتم ذلك بقياس المسافة بين كل مفصلين لأعضاء الجسم المختلفة على الصورة ثم تضرب هذه المسافة برقم نسبي. إن هذا الرقم النسبي قيس على أجسام ميتة عديدة للانسان وأخذ معدل وسطها ويمكن ملاحظة هذه النسب بالشكل (الموضح أسفل) .



الشكل (٧)

والصورة أ توضح على سبيل المثال المسافة بين مفصلي الحوض والركبة ٥٠ مم فهذا يعني ضرب ٥٠×٠,٤٤ وبهذا تكون النتيجة ٢٢ مم ، مقاسة من مفصل الحوض في اتجاه الركبة حيث تكون نقطة مركز ثقل الفخذ على الصورة . مع مراعاة قياس هذه المسافات دائماً من المفصل القريب لمركز ثقل الجسم ولكن بالنسبة للرأس مركز ثقله يكون بين الحاجبين أما اليد فيكون في منتصفها .

كما يجب معرفة أوزان الجسم المختلفة والتي تم معرفتها عن طريق التجارب على أجسام ميتة كثيرة وهذه النسب هي :

أعضاء الجسم	الوزن٪
الرأس	٪٧
الجذع	٪٤٣
الفخذ	٪١٢
الساق	٪٥
القدم	٪٢
العضد	٪٣
الساعد	٪٢
الكف	٪١

ونستطيع بعد ذلك عمل الجدول التالي وهو مبني على أساس معرفة نقاط مراكز الثقل لأعضاء الجسم المختلفة مع وزنها في الجدول السابق .

أجزاء الجسم	الوزن النسبي	البعد الأفقي وحدة الطول	البعد العمودي وحدة الطول	البعد السيني	البعد الصادي	ملاحظات
١	٢	٣	٤	٥	٦	
الرأس	٠,٠٧	٢٣,٥	٩٠,٥	١,٦٣	٦,٣٤	
الجذع	٠,٤٣	٥٧,٥	٧٥,٤	٣٤,٧٣	٣٢,٤٢	
العضد الأيسر والأيمن	٠,٠٣	٥٥,٢	٨٣,٠	١,٦٦	٢,٤٩	
الساعد الأيسر والأيمن	٠,٠٢	٧٦,٠	٧٤,٩	١,٥٢	١,٥٠	
الكتفان	٠,٠١	٨٩,٠	٦٣,٠	٠,٨٩	٠,٦٣	
الفخذان	٠,١٢	٦١,٧	٥٥,٣	٧,٤٠	٦,٦٣	
الساعدان	٠,٠٥	٥٤,٩	٣٤,١	٢,٧٥	١,٧١	
القدمان	٠,٠٢	٦٣,٠	١٥,٨	١,٢٦	٠,٣٢	

الخط العمودي والأفقي هما لتعيين المسافة بينها وبين نقاط مراكز أعضاء الجسم المختلفة والتي يجب أن تقاس من الصورة وتوضح في الجدول. وتضرب المسافة بالوزن النسبي للعضو ، توضح في العمود الخاص بها وهما العمودان ٦،٥ .

إن العمودين ٦،٥ يجمعان كل منهما على حدة (مجموع القوى) ويقسمان على ١٠٠ وبذا يخرج قيمة الخط الأفقي والعمودي لمركز ثقل الجسم جميعه . ثم يرسم هذان الخطان على الصورة وتمثل نقطة تقاطعهما مركز ثقل الجسم ،وفي هذا المثال تكون القيمة على الخط الأفقي ٥٧,٣ وعلى العمودي ٦٥,٣.

ويجب ألا ننسى أن الطريقة التحليلية لتعيين مركز الثقل تحتوي على بعض الأخطاء ذلك لأن وزن ومسافة مركز ثقل أعضاء الجسم المختلفة أخذ

معدلها ولا تنطبق على كل إنسان بالإضافة لإمكانية حدوث الأخطاء عند قياس المسافات في الصورة ولذلك يكون تعيين مركز الثقل بشكل تقريبي .

الروافع في الجسم الإنساني : Levers in the body

الرافعة بصفة عامة عبارة عن عمود من جسم صلب يدور حول نقطة ثابتة تسمى محور الإرتكاز بينما يسمى جزء الرافعة الواقع ما بين محور الإرتكاز والمقاومة بذراع المقاومة والجزء الواقع بين محور الإرتكاز ومكان عمل القوة بذراع القوة .

وتنحصر الميزة الحقيقية للرافعة في النسبة بين أطوال أذرع القوة وأذرع المقاومة لها . ويمثل الإنقباض العضلي عمل القوة بينما المقاومة هي أماكن مراكز الثقل المختلفة التي تعمل عليها القوة بالإضافة إلى المقاومة الخارجية التي قد تقع على أجزاء الجسم . وتعمل المفاصل كمحاور إرتكاز للرافعة . إذن يتضح لنا أن تحول المجهود العضلي في حركة الذراع ما هي إلا عملية تشمل قواعد الروافع وأي حركة تحتاج إلى مواصفات دورانية وكما سبق فان العضلات في الإنسان لها محاور ارتكاز ملائمة وفي أماكن مناسبة بحيث تعطي حرية للحركة الدورانية للعضلات في حالة الإنقباض لتحرك الأذرع حول المفاصل وموقعها ليس بحاجة إلى مجهود كبير (حركة دورانية كبيرة).

والشكل رقم (٦) يوضح الأنواع الثلاثة المعروفة للروافع وعملها في الجسم الإنساني وللتمييز بينها فان ذلك يرجع إلى الوضع النسبي لنقط تأثير القوة لنجعل ذراع الرافعة في وضع ثبات (توازن) أو للتغلب على مقاومة لتحرك الذراع للعمل (إخراج قوة مثلاً) .

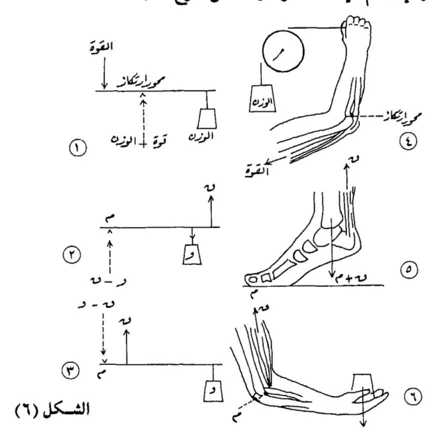
وفي روافع النوع الأول فان خطوط تأثير القوة يمر على جانبي المحور.

أو نقطة الإرتكاز (محور الإرتكاز) كما هو موضح في شكل (٦) .

أما النوعان الثاني والثالث من الروافع فان القوة والمقاومة يوثران في جانب واحد من المحور كما هو مبين في الأمثلة السابقة .

وأنه من السهل روئية أنه في النوع الثاني من الروافع التي يوثر فيها الحمل أو المقاومة قريباً من محور الإرتكاز عنه في القوة (أي القوة بعيدة عن محور الإرتكاز) . وعليه فيكون الجهد (أو القوة) أقل من المقاومة للحصول على وضع التوازن (أي أن ذراع القوة أطول من ذراع المقاومة) .

ولكن في النوع الثالث للروافع يحدث العكس وبوضوح فان معظم الروافع في جسم الإنسان من النوع الثالث ولكن الإعتناء الوحيد الملاحظ هو قدم الإنسان الذي بدورانه حول مفصل الكعب يمكن اعتباره من نقط الإرتكاز في جسم الإنسان لتكون رافعة من النوع الأول .



الشكل (٦)

العمل العضلي والروافع في الجسم الإنساني [1]

العظام في الجسم الإنساني هي عبارة عن الجسم المثبت في جهاز الحركة الإنساني فهي التي يمكنها أن تدور حول محاور المفاصل ، حيث تعمل قوى الشد للعضلات وأيضاً القوى المضادة لها على العظام كمفاصل .

وكما سبق أن أوضحنا فان هناك نوعان من الروافع . في النوع الأول تعمل القوتان في نفس الإتجاه ويقع محور دوران الرافعة بهما كما في شكل رقم (٦).

ولو تأملنا وضع الرقبة بالنسبة لذلك النوع من الروافع فسوف نرى أن خط عمل قوة الجاذبية الأرضية للرأس أمام المفصل الخلفي الرئيسي بينما تعمل قوى مجموعة عضلات خلف الرقبة ضد عزم قوة الجاذبية للرأس كما أنها تشد الرقبة وهي العضلات المارة للرقبة والتي توجد نقطة تأثيرها على الناحية الأخرى من محور الدوران للرأس .

ويجب أن تعلم أنه يتحدد تأثير القوة الرافعة من خلال تحديد عزم دورانها كما يتوقف مقدار عزم القوة على طول ذراع القوة . أي العمود النازل من محور الدوران على خط عمل القوة كما يتحقق التوازن في الرافعة إذا كانت عزوم القوى الموجودة فيها ذات قيمة متساوية .

فالرأس تصبح في حالة توازن عندما يكون عزم قوة شد عضلات الرقبة مساوياً لنفس مقدار عزم قوة الجاذبية للرأس .

وعندما تأخذ كلا القوتين في الرافعة اتجاهين مختلفين مع وجود نقطة تأثيرهما في جهة واحدة من محور دوران الرافعة تكون الرافعة في هذه الحالة من النوع الثاني .

---

(١) محمد يوسف الشيخ : الميكانيكا الحيوية ، دار المعارف بمصر ١٩٦٦

ويظهر ذلك عندما يمسك الإنسان ثقلاً في يده مع إثناء مفصل المرفق نلاحظ أن اتجاه عمل قوى العضلات المثنية لمفصل المرفق إلى أعلى بينما اتجاه قوى الجاذبية للساق واليد والثقل الموجود بها إلى أسفل أي أن لكل قوى اتجاه مختلف عن الآخر ولكنهما يتواجدان في جهة واحدة من محور الدوران.

أمثلة لتأثير القوة على الرافعة :

أولاً : تأثير القوة على الرافعة بزاوية حادة « اي اقل من ٩٠° »

يكون في هذه الحالة ذراع القوة أصغر من ذراع الرافعة وعليه سيكون عزم القوة أصغر منه في حالة تأثير القوة على الرافعة بزاوية قائمة وذلك نتيجة لأن جزءا من هذه المركبة العمودية يؤثر على طول ذراع الرافعة ولاتشترك في حركة الرافعة ،أما الجزء الآخر وهو المركبة المماسية فإنها تؤثر عمودياً على الرافعة وتسبب حركة الرافعة .

ثانياً : تأثير القوة على الرافعة بزاوية منفرجة :

في هذه الحالة يكون عزم القوة [1] يكون تأثيره أيضاً أقـل منه في حالة الزاوية القائمة ويمكن أن نلاحظ من المثال السابق أن تأثير القوة على الرافعة في الحالة الأولى وهذه الحالة أي بزاوية حادة — ومنفرجة له قيمة واحدة إذا كان بعد كل منهما عن الزاوية القائمة متساو .

وبناء على ما سبق يتضح أن الزاوية القائمة هي أفضل زاوية للشد حيث

(١) معنى العزم : عزم قوة حول محور : هو مقدرة هذه القوة على احداث دوران في الجسم حول المحور وتتوقف مقدرة الدوران على عاملين:

١ — مقدار القوة

٢ — بعد خط عملها من محور الدوران

أنه في هذه الحالة (٩٠°) تعمل القوة كلها على تحريك عظمة الرافعة حول محورها وهذه الحالة الوحيدة التي يتم فيها تساوي ذراع القوة والمسافة العمودية عن مكان تكاثر القوة إلى محور الدوران .

بعكس ما يحدث في حالة الشد بزاوية أقل من ٩٠° فان جزءاً من الشد العضلي يعمل على جذب العظمة ناحية المفصل وبذلك يزيد من احتكاك المفصل وبذلك تنخفض كمية الشد التي قد تستخدم للقيام بالعمل الخارجي.

كذلك في حالة الشد بزاوية أكثر من ٩٠° فان جزءاً من الشد العضلي يعمل على إبعاد عظمة الرافعة عن المفصل وبالتالي ينخفض الشد العضلي الذي قد يستخدم في العمل الخارجي .

وكنتيجة لذلك فان زيادة مسافة وسرعة الحركة عند تقليل زوايا الشد إنما يحدث على حساب فقدان القدرة Power [١] وأن الحركة الحقيقية التي تحدث بزاويا غير ٩٠° إنما هي محصلة لقوتين إحداهما تعمل في اتجاه عمودي على عظمة الرافعة وهي القوة المستفادة فعلا منها في الحركة . أما الأخرى فتعمل على خط الرافعة تجاه المفصل وتعمل على تثبيت المفصل بزيادة عوامل الإحتكاك ولا تساهم في حركة الرافعة ـــ ولهذا فمن حسن الحظ وتحت هذه الظروف نجد أن العضلات تعمل في أقصى قدرة لها أثناء شدها بزوايا حادة .

---

(١) ابراهيم سلامة : علم الحركة ، الدار القومية للطباعة والنشر ١٩٦٦
القدرة : هي معدل الشغل المبذول بالنسبة للزمن او هي الشغل المبذول في وحدة الزمن.

الفصل الثالث

القوة ومواصفاتها التامة

FORCES AND THEIR COMPLETE SPECIFICATION

القوة ومواصفاتها التامة :

القانون الثاني للقوة : The Second Law

معدل التغيير في السرعة (العجلة) لأي جسم مادي يتناسب تناسباً طردياً مع محصلة القوة المؤثرة عليه ، والتغيير يحدث في اتجاه تأثير القوة.

هذا القانون ليس فقط لتوضيح اتجاه العجلة وفقاً لتلك القوة المؤثرة ولكنه يعبر عن التناسب بين قيمة الكميات المؤثرة والقصور الذاتي للجسم مستقلاً عن الحركة وهذا الإستقلال الذاتي للجسم لا يحدث إلا عند السرعات العالية مثل سرعة الضوء .

ولقياس القصور الذاتي للجسم يمكن توضيحه هنا على أنه ثابت التناسب بين القوة المؤثرة ق ـــ F على الجسم والعجلة (A) وعليه يمكن كتابة المعادلة كما يلي : معادلة رقم (١).

القوة = الكتلة × العجلة Force = mass x acceleration

$F = ma$

وباختصار

القوة ق = ك × جـ

ق = القوة Force

جـ = العجلة acceleration

ك = الكتلة mass

لعمل الحسابات للمعادلة رقم (١) فاننا في حاجة إلى معرفة نظام الوحدات التي يمكن بها قياس المعاملات في المعادلة (القوة ـــ الكتلة ـــالعجلة)

والوحدات المستعملة بصفة عامة هي وحدات الطول ـــ الكتلة ـــ الزمن.

وفي النظام الإنجليزي نظام (قدم ـــ رطل ـــ ثانية) .F.P.S

القدم : تمثل وحدة الطول .

الرطل : يمثل وحدة الكتلة .

الثانية : تمثل وحدة الزمن .

وهذه سوف نستعملها دائماً في هذا المرجع .

بالإشارة إلى المعادلة رقم (١) فان وحدة القوة القادرة على إعطاء وحدة العجلة لوحدة الكتلة .

في نظام(.F.P.S)(القدم ـــ رطل ـــ ثانية) ستكون القوة القادرة على تحريك جسم كتلة ١رطل بعجلة مقدارها ١ / ثانية٢ .

وتعرف باسم باوندال[1] Poundal (أي وزن رطل) .

في النظام الإنجليزي (.F.P.S) وحدة القوة هي الباوندال.(وزن رطل)

أما الوحدات الدولية (.S.I) .. تعرف باسم نيوتن Newton

« أي أن نيوتن » وحدة القوة في النظام الدولي هي عبارة عن :

« القوة اللازمة لتحريك الجسم كتلة١ كجم بعجلة مقدارها ١متر/ ثانية ٢» .

---

(١) اي ان باوندال = $\frac{\text{١ رطل} \times \text{١ قدم}}{\text{ثانية ٢}}$ نيوتن = $\frac{\text{١ كجم} \times \text{١ متر}}{\text{ثانية٢}}$

ولكن في الحياة العملية لا تستخدم هذه الوحدات Absolyte units المطلقة لأنه لا يمكن تحديد كيفية حركة هذا الجسم بالمقارنة مع القوة المؤثرة علـى وزنه إذا أخذ بالرطل بالكيلو جرام .

ولتقريب ذلك إلى الأذهان دعنا نتذكر حركة الجسم تحت تأثير وزنـه فقط أي السقوط الحر فانـه يكتسب عجلة تزايديـة إلى أسفل $\frac{\text{٣٢ قدم}}{\text{ثانية}^{٢}}$ أو $\frac{\text{٩٫٨ متر}}{\text{ثانية}^{٢}}$ وهي عجلة الجاذبية الأرضية وعليه فان القوة (F) وزن رطل هي التي تعطي الجسم عجلة (A) تتناسب مع وزن الجسم (W) .

معادلة رقم (٢).

$$\frac{F}{W} = \frac{a}{g}$$

أي أن قوة مقدارها (F) تعطي الجسم عجلة مقدارها (a)

وزن الجسم في السقوط الحر (W) يكسب الجسم عجلة مقدارها (g)

ولتحقيق هذا التناسب يجب أن تقاس كل من (W , F) تحت نفس الظروف

وإذا كانت القوتان مقاستان بنفس الوحدات فان النسبة بينهما تكـون كالنسبة بين عجلتيهما المقاسة أيضاً بنفس الوحدات أي أنه إذا كانت (W) تعبر عن وزن رطل فان (F) يجب أن تكون احتكاك أو حاصل ضرب وزن الجسم كمثال عملي .

ولنفرض أننا نرغب في عمل تجربة لإيجاد العجلة الأفقية بواسطة جسم (١٦) رطل بقوة مقدارها (٤٠) وزن رطل تؤثر عليه .

أولاً : يجب أن نتذكر أن قوة = اوزن هذا الجسم (١٦ وزن رطل) ستكسب الجسم عجلة مقدارها (g) الجاذبية عليه فان ٤٠ وزن رطل = $\frac{1}{2}$ مرة من الـ ١٦ .

وعليه فسوف تعطي عجلة قيمتها $\frac{1}{2}$ ٢ من (g) .

وإذا أخذنا (g) $\frac{\text{٣٢ قدم}}{\text{ثانية}^{2}}$ فان النتيجة تكون ٨٠ قدم / ثانية^{2}

في المعادلة رقم (٢) والمثال المعطى عليها كتلة الجسم غير ظاهرة ولكن الحالات التي سوف تقابلنا فيما بعد سوف تحتاج إلى الكتلة وهذا سوف يطبق في المعادلة رقم (١) .

واجتهادات متعددة نستخدمها أحياناً تمكننا من تطبيق هذه المعادلة بقوة مقاسة أما بالوزن رطل أو بالوزن كجم بدلاً من وزن رطل ونيوتن والطريقة المثلى لتطبيق ذلك بإدراك أن :

١ وزن رطل = ٣١ باوندال (وزن رطل)
و١ وزن كيلوجرام = ٩,٨ نيوتن .

وعليه إذا عبرنا عن جميع القوة إما بوزن الرطل أو بوزن الكيلوجرام فان معادلة رقم (١) يمكن كتابتها كما يلي :

نظام إنجليزي F.P.S. $32.\ F = m.a$

نظام دولي S.I. $9.8.F. = m.a$

وهذا له فائدة واحدة على أننا أدخلنا الكتلة كرمز مستقل بدلاً من نسبة واضعين في الاعتبار دائماً أن الأرقام ٣٢، ٩,٨ ما هي أرقام مطلقة Pure numbers وليس لها معنى فيزيائي مطلقاً وما هي إلا معاملات تستخدم لتحويل القوة من وزن رطل إلى باوندال ومن وزن كيلوجرام إلى « نيوتن » وعليه أصبح من الممكن استعمال المعادلة رقم (١) بطريقة علمية :

هناك نقطتان يجب ملاحظتهما :

الأولى : الرقم الدال على الرطل أو الكيلوجرام في كتلة الجسم هو نفس الرقم وزن الرطل أو وزن الكيلوجرام المعبر عن وزنه .

الثانية : هي وزن الجسم هو الكتلة × العجلة الأرضية (g) باوندال أونيوتن.

مركز الكتلة : Centre of mass

يتضح مما سبق أن هناك عاملان يجب معرفتهما عن القوة . ودراسة تأثيرها على الجسم . قيمة القوة التي نعبر عنها غالباً إما بوزن الرطل أو بوزن الكيلوجرام. والعامل الثاني: هو الإتجاه أي بالتحديد قيمة القوة تعبر عن معدل التغيير في السرعة بالنسبة للزمن نتيجة القوة المعطاة للجسم « أي عجلته».

أما الإتجاه فهو عبارة عن الإتجاه الذي تحدث فيه هذه الزيادة أو النقصان في العجلة .

وبهذا نكون قد عرفنا الخاصيتان (ملامح) تحديد المتجه وهي القيمة والإتجاه ولقد درسنا ذلك في متوازي أضلاع القوى ومضلع القوة في الموضوع الأول من هذا المرجع .

هذه الدراسة أخذت على اعتبار النقطة المادية ولكن في حالة جسم متماسك فان وزن الجسم يكون موزعاً على حجمه وعليه فاننا سنعتبر أن وزن الجسم يؤثر في نقطة واحدة ويطلق عليها مركز ثقل الجسم . وهو النقطة التي يكون فيها خط تأثير عمل القوة (وزن الجسم) متمركزاً فيها وهذه النقطة ليست في مكان ما محدد في الجسم ولكن تتغير نتيجة لوضع الجسم، كما سبق أن أوضحنا ذلك،أو أي تغيير يحدث في أطراف الجسم .وتجربة الترامبولين توضح ذلك .

والآن القانون الثاني للحركة : ليس فقط على مستوى التوازن الأستاتيكي (الثابت) وفي الحقيقة فان حالات استخدامه ليست قاصرة فقط على خط عمل القوة أو النقطة التي تؤثر فيها يعني أن هذه العوامل ليس لها تأثير فقط على العجلة الخطية الناتجة عن هذه القوة . وعليه فاننا لدراسة الأجسام المادية

علينا معرفة ما هو المقصود بالعجلة والسرعة ووضع الأجسام خاصة إذا كانت في شكل غير منتظم وغير متماسك Non-rigid .

هناك تصور آخر لوضع الأجسام المتماسكة ذات الحجم الكبير لتتلاءم مع قوانين الحركة المعمول بها للجسيمات أو النقاط المادية .

وممكن أن يتم ذلك في تصورنا عن طريق استبدال الكتل الموزعة لأي جسم بجسيم آخر مساو له في الكتلة وهذه الكتلة أو الجسيم يكون في وضع يتلاءم مع مساحة الجسم الكلي وخاضعاً لقوانين الحركة بغض النظر عن تأثير القوة على هذا الجسم المكافىء له .

هذا هو تصور مركز الكتلة ومن الضروري إدراك خواصه الأساسية وهي خاصية الحركة تحت جميع الظروف وفقاً لقوانين الحركة وهذه الخاصية التي تؤكد لنا الترابط التام فيما يتعلق بالحركة الخطية للتركيب المعقد لجسم الإنسان والتوزيع المختلف للكتلة .

وعليه مهما كان هناك من تعقيدات للحركة فان الجسم له خاصية معينة للحركة من البداية أو منذ تحركه من السكون . وسرعة مركز الكتلة يعتمد أساساً على شكل القوة وكذلك فان عجلته عند ذلك لها قيمة واتجاه تحدد بواسطة القوة المحصلة المؤثرة على الجسم .

وعليه وعند السقوط الحر للجسم فان مركز كتلته لــه عجلة إلى أسفــل مشتركة مع جميع النقط المادية المكونة للجسم .

حقيقة مركز الثقل ومركز الكتلة : Identity of centre of gravity and centre of mass

إنه من السهل القول أنه للأجسام المنظمة مركز الكتلة ومركز الثقل لهذه الأجسام منطبقين وعليه فان جميع الأجسام في حالة السقطات الحرة تكون عجلتها إلى أسفل وعليه فان جميع جزئيات الجسم تتحرك تحت تأثير وزنها

وتكون هناك حالة انعدام وزن بين جزئيات الجسم ولذلك لاتوجد أي قوة رأسية بين هذه الجزئيات بعضها البعض وعليه فليس هناك أي فرصة للجسم للدوران أثناء حركته في السقوط الحر من السكون وذلك لأن وزنه لا يملك أي عزم حول مركزكتلته المتحرك وفقاً لقوانين الحركة وبالتالي فانه لايوجد فراغ أو مسافة بين مركز الكتلة ومركز الثقل مما يسبب الدوران ولذلك فان النقطتين تنطبقان على بعضهما في (م) وهذا إثبات آخر على أن توزيــع الأوزان هو نفسه توزيع الكتلة .

القوى الخطية المباشرة واللامركزية (المنحرفة) Direct and eccentric Forces

من المعلوم أن وزن الجسم لا يستطيع تحريك الجسم حركة دورانيـــة . فمركز ثقله – نقطة الأصل التي يؤثر فيها الوزن المحصل – ومركز كتلتـــه يشترك معه في نفس النقطة (م) فإن الوزن (W) هو القوة الخطية المباشرة التي تحفظ الجسم في حالة توازن عندما تعلق الجسم من النقطة (م) مركز ثقله بدون دوران بواسطة قوة أخرى مساوية ومضادة في الإتجاه،والشيء الهام هو أن القوة الخطية وكذلك مجموعة القوى التي تمر محصلتها في النقطة (م) وهي ليس لها تأثير دوراني حول النقطة (م) ولا تسبب أي تأثير دوراني على الجسم

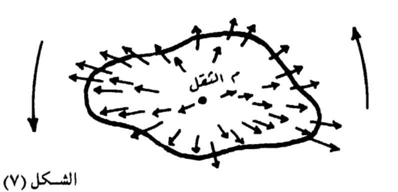
والقوة اللامركزية تتميز عن القوى الخطية بأن خط تأثيرها لا يمـــر بالنقطة (م) مركز الثقل وعليه فإن لهذه القوة اللامركزية تأثير دوراني حول النقطة (م) وبينما تكسب النقطة (م) نفس العجلة كما لو كانت قوة خطية إلا أنها تعطي الجسم حركة دورانية حول مركز الثقل .

برهان عملي :

ولنقنع أنفسنا بأن (م) لها الخواص السالفة الذكر ونقوم بعمل هذه التجربة العملية عن طريق استخدام ورقة لعب أو بطاقة غير منتظمة أو لوح خشب أبلاكاج ونقوم بتحديد مركز ثقلها عن طريق وضعهـــا في حالـــة

اتزان على رأس دبوس بعناية حتى نحدد مركز الثقل الخاصة بهما ويتم وضع بقعة حمراء دائرية على نقطة الإتزان وكذلك بقعة سوداء حولها ، وبعد ذلك يطلق هذا الكارت (البطاقة ليدور حول نفسه في الهواء يدور بسرعة حول مستواه فانه من السهل أن نرى أن البقعة الحمراء هي الوحيدة التي ترسم منحنى بينما الأخرى تتحرك في دوائر حولها .

والحالة الديناميكية لمثل هذا الجسم موضحة بالشكل رقم (٧) والذي يبين فيه اتجاه الأسهم التغيير في قيمة واتجاه قوة الطرد المركزي المتولدة في الكارت الدائر حول نفسه نتيجة لبعض أجزاء عناصره المتمركزة حول النقطة (م) والقوى جميعها متجهة بعيدة عن (م) وجميعها تحاول تحريك النقطة (م) بعيداً عن مكانها في مركز الدوران .



الشـكل (٧)

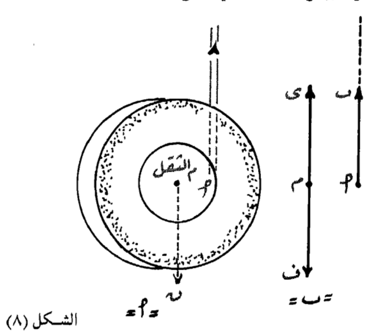
النقطة (م) هي الوحيدة التي ليس لها عجلة ذاتية (محلية) وعليه فهي النقطة الوحيدة التي عندها تتلاشى جميع هذه القوى .

وهذه القوى الداخلية جميعها تصبح ذات تأثير أكبر للاجزاء البعيدة لهذا الكارت (البطاقة) وليس لها تأثير على حركة الجسم ككل .

تجربة اليويو : YO-YO

لتوضيح عمل مركز الكتلة تحت تأثير قوى مركزية (لا تمر بمركز الكتلة

يمكن عمل تجربة باستخدام جسم يويو وهو الجسم الذي يمكن منعه من الحركة بعجلة تزايدية إلى أسفل رأسياً بواسطة قوة رأسية إلى أعلى توثر عن طريق خيط مرن وبسرعة دائمة كما في شكل (٨) :



الشـكل (٨)

وعليه يمكن إثبات أن القوة الرأسية المتولدة (الناشئة) من الجهاز بواسطة الخيط تقوم بعمل شيئين في آن واحد فهي تمنع الجسم من التحر رأسياً إلى أسفل وبالتالي تساعد وزنه . كما أنها يتولدها حركة دورانية حول (م) بمعدل أسرع فأسرع فان هناك تأثير دوراني مستمر بدون حركة خطية .

والآن لنساعد الوزن ، القوة يجب ان تكون متساوية ومضادة للوزن وتؤثر في (م) وشرط التأثير الدوراني بدون حركة خطية يحتاج الى زوج من القوى المتساوية والمتضادة وخط تأثيرهما مختلف بعيداً عن الآخر (اي هناك مسافة بين خط التأثير) .

ومن الواضح الآن ان الشد في الخيط له قوة رفع كما لو كان اليويو لا يفعل شيئاً ولكنه معلق بالخيط (اي ان هناك قوة مساوية ومضادة للوزن)

ونتيجة للقوى اللامركزية والتي تحدث عجلة دورانية في الجسم وعليه يمكن ان نستنتج ان القوة الغير متمركزة تساوى قوة متساوية لها ولكنها تؤثر في مركز الثقل (م) وايضاً ازدواج يسبب الدوران .

ولو قمنا باجراء هذه التجربة في الاتجاه الافقي وذلك بوضع اليويو على سطح املس (بدون احتكاك) فان نفس شد الخيط سوف يحقق الشروط السابقة ، ويكون افقياً بدلاً من رأسياً ويتحرك الجهاز بعجلة قيمتها حوالي ٣٢ قدم / ثانية[٢] وذلك في اتجاه شد الخيط بينما حركته الدورانية تتزايد بنفس المعدل السابق . واستخدام مثل هذا الجسم للتجربة بالشكل السابق ذلك ان دورانه ليس له تأثير على الوضع النسبي لمركز الثقل (م) وخط تأثير القوة لفترة قصيرة جداً عند إعطاء الجسم دفعة بسيطة .

القوى اللامركزية في حركة الانسان : Eccentric forces in human movement

على اي حال الموضوع السابق عن التصرف الماثل لكتلة جسم تحت تأثير قوتين متساويتين خطية ولا مركزية فبالتجربة العملية يمكننا ان نقتنع فهناك اثبات او توضيح سهل باستخدام المجهود العضلي .

لنفرض ان قضيباً قصيراً (قلم رصاص) في وضع توازن افقي لحظياً لفترة قصيرة على الاصبع ثم قذف رأسياً الى اعلى سوف يرتفع في الهواء ثم يسقط بدون دوران والنتيجة مطابقة لتأثيره بدفعة قصيرة في اتجاه مركز الثقل .

ولكن لو كان القلم في نفس الوضع اي الاتزان الأفقي واثرت عليه قوة دفع بسيطة ومماثلة للاولى الى اعلى وعلى بعد بوصة واحدة عن مركز الثقل فان الثقل (م) سيتحرك رأسياً الى اعلى بينما يدور القلم حول النقطة (م) ولكنه لن يرتفع كما حدث في التجربة الأولى . واكثر من ذلك لو كانت نقطة القذف بالقرب من نهاية القلم فانه يصبح من الاستحالة رفع مركز

الثقل خطياً الى اعلى ولكنه سوف يحدث معدل دوراني سريع جداً .

وأعتقد ان الاختبارات التي شرحت كفيلة بأن تزيل بعض الغموض حول خاصية او امكانية النقطة (م) في تمثيل القلم ككل عند تطبيق قوة غير مركزية عليه حيث تفي بالخواص الاساسية فانها سوف تحصل على نفس السرعة وترتفع إلى نفس الارتفاع عندما تؤثر قوة بنفس المقدار والاتجاه ولنفس الوقت في اي نقطة من الجسم تتعلق به .

أما الصعوبة الوحيدة هنا فهي تحليل او تطبيق دفعة فيزيائية (طبيعية) لجسم خاص تحت تأثير قوة غير متمركزة .

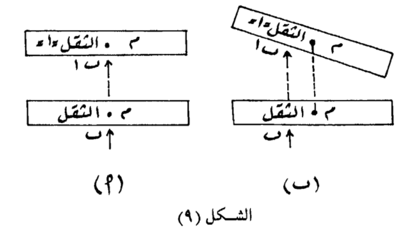
والشكل رقم (٩) يوضح انه لحدوث ذلك فان الاصبع لا بد ان يعجّل اكثر من (م) وعليه يتحرك اكثر مما لو طبقنا قوة خطية على الجسم هذه. القضية لها اهمية كبيرة في الحركات الفيزيائية . القضية التي تتعلق بالفروق الكبيرة بين القوى التي تساعد داخلياً (القوى الداخلية) عند انقباض العضلات بعرض تعجيل الذراع والقوة التي بها نفس هذا الذراع يكون قادراً على عدم اظهارها على جسم خارجي .

وهناك عوامل كثيرة يشملها ذلك نذكر منها الآتي :

١ ــ الحقيقة الفسيولوجية وهي القوة التي تنشأ (المتاحة) عن انقباض العضلات تصبح اقل كلما زادت سرعة انقباض العضلات .

٢ ــ زيادة المقاومة الداخلية لحركة الذراع التي بدورها تزداد بزيادة السرعة .

٣ ــ في المثال الحالي فان السرعة اللازمة للحركة عندما نطبق ذلك قوة خارجية غير متمركزة بذلك لا يقلل فقط القوة المتاحة بل ايضاً يقلل من الزمن التي تؤثر فيه هذه القوة على الجسم .



الشــكل (٩)

انه اصبح من الواضح ان التطور في القوة غير المتمركزة في النشاطات الفيزيائية يكون مصحوباً بتحديد في الانجازات وهذه لها تطبيقات ليس فقط في الحالات التي ذكرت سابقاً ولكن في اشتقاق القوة كرد فعل الارض الذي غالباً يظهر غير متمركزاً (لا يمر بمركز الكتلة) مع الجسم ولو كان هذا هو فان الفشل في هذه الحالة ليس بسبب عدم تحرك (م) وفقاً لقوانين الحركة ولكن للصعوبات من ناحية العوامل الفسيولوجية التي لا يستطيع الفاعل ان يتغلب عليها .

دعنا الآن نقوم بدراسة لجسم ما ونؤثر عليه بقوة متمركزة كما في شكل (١٠) .

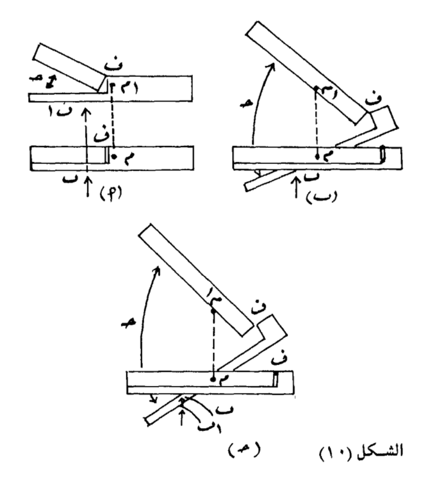
ويوضح شكل (١٠ ــ أ) قضيباً مفصلياً والذي يمكن اعتباره كتطور للشكل رقم (٩) ، هناك جزء من القضيب والذي يبدو مظللاً قد قطع ووصل بالقضيب الرئيسي عن طريق مفصل في النقطة (ف) ويمكننا ان نفترض انها ميكانيزم مطلق (غير واضح) ويعمل بمجرد تطبيق قوة غير متمركزة على الجسم في النقطة (ب) وعليه فان الجزء المفصلي يدور حول (ف) في اتجاه عقارب الساعة ويشعر ذلك عن طريق زمبرك (ج) الذي يشده حوله .

في شكل (أ) الجزء المفصلي بالمقارنة يعتبر قصيراً والزمبرك ليس قوياً في شكل (ب) ، (ج) هذا الجزء اطول والزمبرك اقوى منه في (أ) والوضع الاصلي للقضيب افقياً في جميع الاشكال .

ولو قمنا بعمل دفعات مطابقة تعطي على (ب) تسبب حركة رأسية مطابقة على مركز الثقل (م) اثناء تأثيرها . في الواقع النقطة (ب) يمكن أن تكون القوة الرأسية لرد فعل الارض التي تظهر على الجسم خلال قائمة ممتدة (ساق ممتدة) والآن وحيث ان تطبيق قوة غير ممركزة على الجسم يسبب دورانه حول مركز ثقله كما يحرك ايضاً النقطة (م) نفسها (انظر شكل رقم ٩) ونلاحظ ان المرونة الممتلكة بواسطة القضيب المفصلي في شكل (١٠ ــ أ) تعطيه فرصة لهذا الدوران فيكون للجزء المظلل فقط بينما الباقي قد بقي على وضعه الافقي ، وبحدوث ذلك فان نقطة الوضع للدفعة تتحرك خلال مسافة ب ب[١] .

وهي صغيرة جداً ولكنها اكبر من مسافة م م[١] التي تحركت خلالها النقطة (م) هذه النتيجة يمكن استغلالها في الاشكال الباقية حيث نجد في شكل (١٠ ــ ب) ان الكتلة الاكبر وطول الجزء المفصلي والذي يعمل بواسطة زمبرك اقوى سيحفظ ساكنة بينما النقطة (م) ترتفع (الشرط الذي بموجبه العضلات المحركة للساق Driving فقط ستحفظ مكانها مجسماً وببقائها هكذا ستولد قوة كبيرة جداً حتى تستطيع ان تحرك (م) اكثر واسرع عن طريق انقباضها المتتابع) .

وشكل (١٠ ــ ب) يوضح حالة اكثر حيث نقطة الوضع (١) يتأثر منه حقيقة تدفعه الى الخلف من (ب) الى (ب[١]) تمثل فرد لعضلات ساق الحركة قبل ان تكون قادرة على خلق مساهمتها الموجبة (فعاليتها الموجبة لحركة م) .



الشـكل (١٠)

إنه من الواضح الآن أن العوامل الّتي تصف القوة والّتي تصف تأثيرها على اي شكل ذات نشاط فيزيائي هي قيمتها واتجاهها وخط تأثير عملها ونقطة تأثيرها جميعاً مع الزمن الذي يمكن ان تؤثر فيه هذه العوامل والّتي يمكن ان تستخدم بها لانتاج الحركة المطلوبة للجسم .

تلك الحركة الّتي وصفت بقناعة في فصول حركة مركز الكتلة للاجسام ودوران الجسم كله حوله .

الفصل الرابع

الاحتكاك والاستقرار

FRICTION AND STABILITY

مقاومة الحركة : Resistance to motion

لمناقشة الاحتكاك في سياق الكلام عن الحركة البشرية علينا أن نميز بين ما يسمى احتكاك انزلاقي على المستوى الأملس (حيث أن القوة المؤثرة مساوية ومضادة في الاتجاه على سطحين متلامسين مما يترتب عليه خفض الحركة النسبية بينهما الى الصفر).

ومن المعلوم أنه لا توجد حركة نسبية بين الجسمين. والمقاومة المبذولة لمرور جسم صلب يتحرك بسرعة خلال وسط سائل. وقد تم دراسة بعضها في السرعة الحدية حيث أن أول هذه المؤثرات ضروري للاستقرار وللنمو والتقدم على الأرض لأنه يشمل مقاومة الانزلاق. والثاني هو ضياع الطاقة وعليه فهو غير مساعد أو غير نافع.

مقاومة الهواء : Air resistance

في الحقيقة أن الانجازات أو التطبيقات الخاصة ليست ذات تأثير كبير اذا أخذنا في الاعتبار تأثير الريح المعاكس حيث تظهر مقاومة الهواء على جسم الرياضي أثناء تحركه بسرعة فان حوالي ٤ وزن رطل تقاوم رجلاه وهو يمشي بسرعة ٢٠ ميل / ساعة وذلك في الهواء الراكد (الرقم المستشهد به) المساوي لتسلق منحدر بنسبة $\frac{١}{٤٠}$ ضد ريح معاكسة فان المقاومة ستكون أكثر خاصة اذا كانت الريح تهب عبر الطريق وانه أيضاً من المعروف أن

الريح لها تأثير مضاد على المتسابق الذي يجري في منحنى مقفل (طريق دائري) .

وعليه فانه في بعض الأحيان تكون الريح مع المتسابق مما يقلل من مقاومة الهواء له بعكس ما اذا كانت الريح ضده حيث يزيد تأثيرها من مقاومة الجسم .

وبدراسة منحنيات المقاومة شكل (ـ ١ ـ ص) سوف نرى هذا التفسير .

الاحتكاك الانزلاقي : Sliding friction

باعتبار أن القانون الاول لنيوتن يرينا استحالة الحركة المعطاة لجسم في السكون ، أخرجت بواسطة تأثير قوة في الاتجاه المتوقع لتخرج من الجسم سرعة أفقية والتي يمكن فقط الحصول عليها على سبيل المثال بواسطة رجل يقف على أرض مستوية لو أثرنا عليه بواسطة قوة أفقية لزمن قصير جداً .

وفي غياب أي فعل آخر يساعدنا من تطبيقه فالقوة اللازمة الضرورية تأتينا عن طريق رد فعل الارض ورد الفعل هذا عليه يمتلك مركبة أفقية كما أن له مركبة رأسية تعادل وزن جسم الانسان ، وعليه لكي يتحرك من السكون عليه أن يتغلب على المركبة الأفقية للاحتكاك بواسطة قوة خارجية مساوية ومضادة للاتجاه الذي يرغب الحركة فيه وهذا يمكن الحصول عليه بواسطة العجلة الامامية Forword accelerution لأي من الساقين بعيدة عن التلامس مع الارض وعليه فان القدم الأخرى تكون قد دفعت الى الخلف ، اذا لم يكن هناك احتكاك انزلاقي بين هذه القدم والارض ، ولذلك لا تكون هناك اي مقاومة لانزلاقها في الاتجاه المضاد ، ولا يوجد رد فعل امامي عن السطح الزلق وكذلك لا توجد حركة افقية لمركز كتلة الرجل ، ولذلك فالتحرك من السكون (أي تحرك بعجلة) مستحيل بدون رد الفعل

اللازم عن الأرض اذا كانت القدم ليست مرساة (رأسية) بواسطة سنبلة وبالتالي فان الاحتكاك الانزلاقي هو المستوى عن رد الفعل ، والقدم يجب أن تندفع الى الخلف بقوة أكبر من تلك (أي قوة الاحتكاك* المتوقعة)، وبالتالي تكون هناك (انزلاقة) للقدم الى الخلف ، القوة الامامية المتولدة بواسطة الأرض تكون نقطة مساوية لتلك التي تنشأ عن الاحتكاك ، وقوة الاحتكاك العظمى هـــذه بين الأجسام المتلاصقة تعرف عـــادة بالاحتكاك المحدود وهو أكبر بعض الشيء من الاحتكاك بينهما عندما يبدأ الانزلاق .

ومن الواضح في حالات العجلة السريعة فوق الارض فان المطلوب لتحديد الاحتكاك بين القدم والأرض ليكون أكبر ما يمكن يجب استخدام اسطح ملائمة بالإضافة الى عمل رد فعل من الارض أكبر ما يمكن .

الاتزان ــ حفظه واسترجاعه : Balance-its maintenance and recovery

يبقى الجسم في حالة من الاتزان أو الثبات اذا أصبحت محصلة القوى المؤثرة عليه تساوي (صفر) .

فان أي جسم مادي في حالة توازن فان هذا يوضح أن جميع القوى الخارجية المؤثرة على هذا الجسم متعادلة أو يجب أن تتعادل وهذا يعني أن محصلة القوى التي يمر خط عملها بمركز ثقل الجسم يجب أن تساوي صفراً ، وبصورة أخرى يجب ألا يسمع بوجود أي قوى بحيث تحدث عجلة تسارع

---

* قوة الا حتكاك : من قوى رد الفعل وتظهر لتمنع حدوث انزلاق أي من الجسمين على الآخر وهذا يعني ان قوة الاحتكاك تعمل دائماً في الا تجاه المضاد للاتجاه الذي تكون فيه الحركة النسبية لنقطة الا رتكاز كما انها تظهر فقط بالمقدار الذي يكفي لحفظ الا تزان بشرط الا يتعدى ذلك مقداراً معيناً يعرف بقوة الاحتكاك النهائي واذا احتاج احد الجسمين المرتكزين الى قوة اكبر حتى يتزنا ظهرت هذه القوة. بقيمتها النهائية فقط فتكون النتيجة تحرك الجسم .

لمركز ثقل الجسم ولا يسمح أيضاً بوجود عزم قوي ينتج عنه دوران للجسم حول مركز ثقله .

وكما سبق أن أوضحنا أن الجاذبية الأرضية وقوة رد الفعل من القوى الخارجية التي تؤثر على الأجسام أثناء حالة السكون باستمرار .

كما أن خط مركز ثقل الجسم يمر به خط عمل قوة الجاذبية الأرضية كما يحدث هذا أيضاً بالنسبة لرد الفعل وذلك في أبسط الحالات ونتيجة لهذه الحالة يصبح مجموع القوتين الخارجتين مساوياً (صفراً) بالاضافة الى عزم الدوران أيضاً .

ويصبح التأثير المتبادل لهذه القوى معقداً بعض الشيء اذا لم يمر اتجاه الجاذبية بقاعدة الارتكاز . فيتكون عندئذ عزم قوة جاذبية للجسم . ولا بد من وجود عزم آخر له أثر عكسي لكي يتعادل مع العزم الأول .

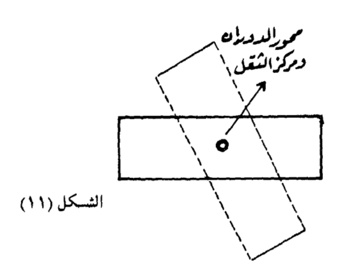
ويُعدُّ سكون أي جسم نتيجة لتوازن القوى المؤثرة عليه ولهذا السكون أشكالاً متعددة وذلك حسب الوضع الذي يوجد به الجسم من سكون أو توازن ومن أهم هذه الأشكال ما يلي :

١ ـ التوازن المتعادل

٢ ـ التوازن المستقر

٣ ـ التوازن الغير مستقر

ونلاحظ أن التوازن المتعادل عندما يمر محور الدوران بمركز ثقل الجسم شكل (١١) .



الشـكل (١١)

أما الشكل الآخر وهو التوازن المستقر فعندما يمر محور الدوران عمودياً فوق مركز ثقل الجسم كما في شكل (١٢) فلو أدير الجسم في هذه الحالة بزاوية معينة نشأ عن ذلك عزم قوة من تأثير قوة الجاذبية الأرضية على مركز الثقل فيعود الجسم مرة أخرى الى وضعه الأصلي والتعلق على العتلة صورة من الاتزان المستقر ..



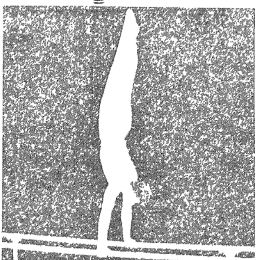
الشـكل (١٢أ)

ارتكاز على المتوازي توازن مستقر

أما الشكل الأخير وهو التوازن الغير مستقر والذي يحث عندما يمر محور الدوران عمودياً تحت مركز ثقل الجسم ونلاحظ عدم الاتزان في هذه الحالة

فعند ادارة الجسم يعمل عزم قوة الجاذبية الأرضية على استمرار حدة الدوران حتى يصل الى حالة الاتزان المستقر ويمكننا ملاحظة ذلك في حركة الوقوف على اليدين على جهاز المتوازي .

والارتكاز فوق المتوازي باليدين أيضاً يعد من حالات الاتزان الغير مستقر ومركز الثقل يوجد فوق محور الدوران الموجود موضع اليدين .



الشـكل (١٢ب)

وقوف على اليدين توازن غير مستقر

الثبـات :

تعرف المساحة التي تحددها نقط ارتكاز الجسم بقاعدة ارتكازه ولا بد أن يوجد على الأقل ثلاث نقاط ارتكاز لتحديد المساحة ذلك لأن نقطتين لا تحدثان أية مساحة ولكن خطاً مستقيماً .

ويبقى الجسم في حالة اتزان مستقر طالما لم يخرج خط عمل قوة الجاذبية الأرضية له عن قاعدة ارتكازه .

ويسقط الجسم عند ادارته أو ازاحته ليصل الى حافة قاعدة ارتكازه التي يمكن أن تعرف بحافة السقوط وفي هذه الحالة يكون مركز ثقل الجسم فوقها وبالطبع يكون اتزان الجسم غير مستقر .

أما في حالة الازاحة القليلة والتي لم يصل فيها مركز ثقل الجسم الى حافة السقوط فانه يسقط الى الناحية الاولى ويكون عندئذ في حالة اتزان مستقر وتتطلب بعض أنواع الرياضة ثبات الجسم ضد القوى الجانبية المؤثرة كما في الملاكمة والمصارعة وتقاس درجة الثبات في الميكانيكا بطرق ثلاث نوجزها في ما يلي :

١ ــ قياس الطاقة :

كلما كانت زاوية السقوط كبيرة كلما كانت أيضاً المسافة التي يقطعها مركز ثقل الجسم عند الازاحة حتى حافة السقوط كبيرة أيضاً أي أن الشغل المبذول أكبر .

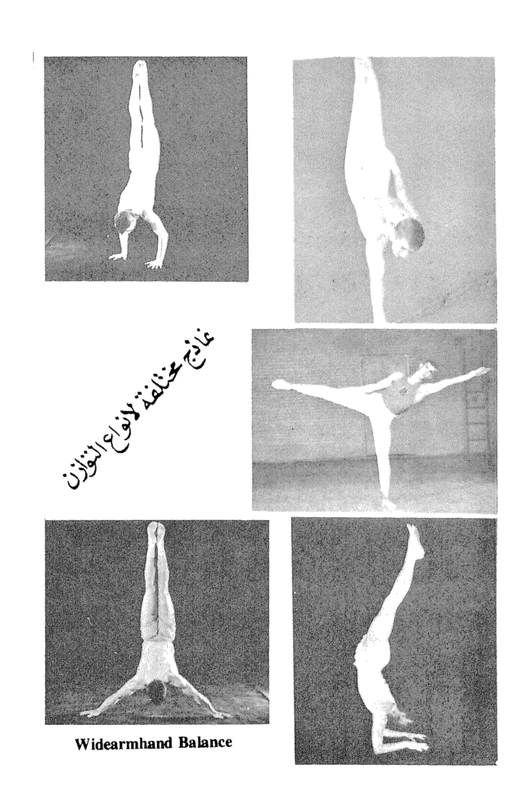
٢ ــ القياس الديناميكي :

يبقى الجسم في حالة اتزان اذا أثرت عليه قوة جانبية طالما أن محصلة هذه القوة وقوة الجاذبية الأرضية لهذا الجسم لم تخرج عن قاعدة الارتكاز .

٣ ــ القياس الهندسي :

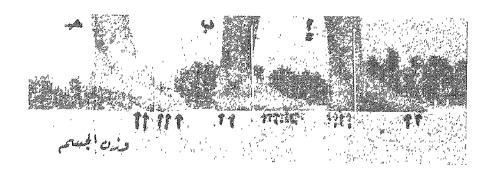
لكل جسم زاوية معينة يسقط فيها (أي زاوية السقوط) ويمكن قياس هذه الزاوية لأنها تساوي الزاوية المبادلة لها . وتتحدد هذه الزاوية بالارتفاع العمودي لمركز ثقل الجسم والبعد الأفقي لمركز الثقل عند حافة السقوط وكلما كانت زاوية السقوط كبيرة كلما درجة ثبات الجسم أكبر ويعني ذلك أنه كلما كان ارتفاع مركز الثقل قليلاً وكلما كان بعده عن حافة السقوط كبيراً ، أيضاً كلما كانت بالتالي زاوية سقوطه أكبر . ودرجة ثباته أيضاً .

ويجب أن نضع في الاعتبار أنه كلما كانت قاعدة الارتكاز صغيرة أو وزن الجسم ضئيلاً وكلما كانت نقطة تأثير القوى الخارجية أعلى ما يمكن عن قاعدة الارتكاز وكما أمكن سهولة اسقاط الجسم بسرعة .



نماذج مختلفة لأنواع التوازن

Widearmhand Balance



الشـكل (١٣)

وبصورة أكثر دقة وشمولية نستطيع توضيح الاتزان وطريقة حفظه واسترجاعه فلو نظرنا الى الشكل رقم (١٣) وقبل أن نشرح بالتفصيل ماذا يحدث في هذا الوضع أو هذا الشكل علينا أن نتصور لو أن جسماً متماسكاً يقف على قاعدة ذات حجم محدود يكون متزناً Stable ذلك لأن هناك خطاً رأسياً ماراً بمركز رأسه الى تلك القاعدة الواقف عليها هذا الجسم المتماسك . حيث أن الوزن يؤثر كمحصلة قوى رأسية عبر هذا الخط وله أيضاً عزم دوراني حول حافة تلك القاعدة الواقف عليها والتي سوف تعمل دائماً على حفظ الجسم في وضعه الأصلي لو اهتز قليلاً حول الحافة .

من الواضح أن الارجاع أو الحفظ يصبح أقل اذا كانت الازاحة حول الحافة قد أصبحت اكبر الى أن تصل الى شرط عدم الاتزان السابق الحديث عنه وهو عندما يصبح مركز الثقل مباشرة فوق الحافة ومن المعلوم أن ازاحة أخرى ولو كانت قليلة جداً سوف تؤثر على وضع هذا الجسم وقلبه الى وضع جديد ، هذا ما يحدث بالنسبة للاجسام المتماسكة .

أما في حالة الأجسام الغير متماسكة اي جسم بشري يقف على سطح خشن فان هذا الوضع من عدة نواح يختلف عما سبق ، حيث أنه في الجسم المتماسك لا بد لازاحته من وضع التوازن من وجود مؤثر خارجي قبل أن يتحرك لينقلب .

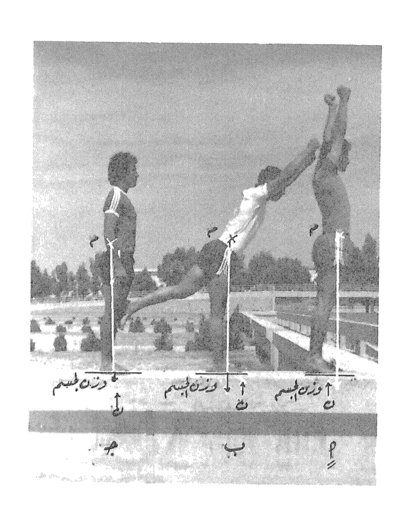
الجسم البشري يقف منتصباً بطبيعة الحال غير متزن ولذلك فهو بحاجة الى التغيير اللاارادي الثابت للضغط على أسطح الأقدام ليحفظ توازنها (ويقصد بالانقباض الثابت الانقباض الايزومتري) ، ويوضح شكل (١٣) بالأرقام وأطوال الخطوط والتي تمثل رد الفعل الناتج من الارض كيف أنه يوزع رد الفعل هذا فوق سطح القدم وليضبط خط فعل محصلة وزن الجسم حتى لو كان الأخير يتحرك للأمام ليرغم الكعب على الارتفاع .

ويجب أن نعرف أنه في حالة غياب المركبة الأفقية لرد فعل الأرض فان أي نقص ولو بسيط في التطابق الذي يمكن أن يحدث بين خط فعل محصلة القوى الدفعية الى اعلى ووزن الجسم سيسبب دوران الجسم حول (م) وتنزلق الأقدام بعيداً عندما يهبط وضع مركز الثقل رأسياً نتيجة للدوران . ان أي شخص لو وقف على سطح منزلق Slippery سوف يعرف المفاجأة التي يمكن أن تحدث له .

والآن مع الشكل رقم (١٤ أ) وفي هذا الشكل يتضح أن هناك فقد اتزان في الاتجاه الأمامي وان (م) تحركت الى الامام بالنسبة لاصبع القدم ، ولنتذكر أن (م) تلبى تماماً بموجب قوانين نيوتن أينما أثرت القوة من الجسم .

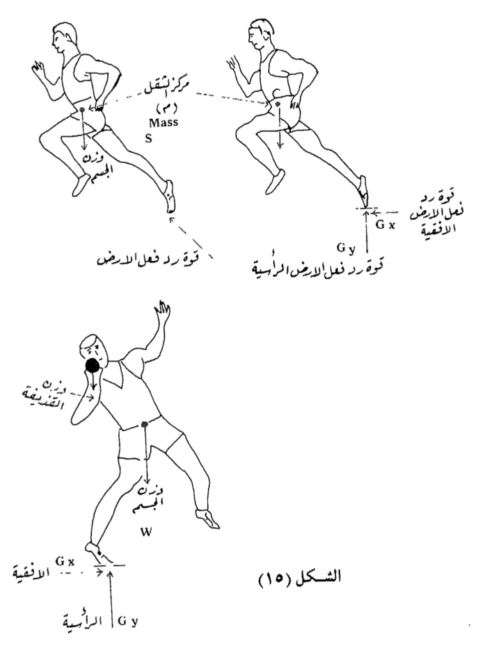
فاننا نرى أن قوة الاحتكاك اللازمة لتحريكه الى الخلف على الأقدام أن تتحرك الى الخلف بدلاً من الأمام (ب) التي سببت الاتزان يجب أن تفقد أي في الحقيقة يجب أن يعكس اتجاه القوة (ب) وتكون بأكبر ما يمكن في الاتجاه المعاكس .

ويتضح الآن ان القوة الافقية على مستوى الأرض هي غير متمركزة ولا يمكن أن تكون فعالة ما لم تكن مصاحبة بواسطة حركة دورانية سريعة ومتزايدة من الجسم (أو الجزء منه) حول (م) — مركز الثقل — وعليه



م ـ مركز الثقل

الشكل (١٤)



الشـكل (١٥)

شكل يوضح تأثير قوة رد فعل الارض الرأسية والافقية

فإنها تطور قوة في الاتجاه المطلوب وبالقيمة اللازمة ويظهر التغير في الشكل رقم (١٤ ب) بعجلة دورانية في اتجاه عكسي عقارب الساعة لكل أجزاء الجسم مشاركاً معه الجذع ، الأذرع ، وساق واحدة .

وعندما يحدث فان الجسم يتصرف كما هو متوقع القوة الغير متمركزة (ب) ستكسب (م) عجلة الى الخلف ومسببة حركة دورانية لمعظم أجزاء الجسم حولها .

الآن هذه الأجزاء من الجسم لا يمكن أن تستمر في عجلتها بدون تحديد فسوف ترجع الى سيرتها الاولى لحالة السكون وحركتها بالتالي تعكس لاسترجاع وضع الانتصاب شكل (١٤ ج) خلال هذه الفترة فسوف يتغير اتجاه (ب) مرة أخرى ويصبح قوة موثرة أمامية لترجع النقطة (م) الى وضع السكون فوق الأقدام .

وقليلاً من المهارة لازمة لذلك ولبقية القوى الموضحة في شكل (١٢) وهي رد الفعل الطبيعي للأرض (ن) والذي ساهم أيضاً بالدوران حول (م) أولاً في اتجاه واحد ثم في الاتجاه الآخر .

الفصل الخامس

الدفع وكميّة الحركة

IMPULSE AND MOMENTUM
THE THIRDLAW

الدفع وكمية الحركة :

فيما سبق كان التأكيد على موضوع العلاقة بين الحركة بعجلة والحركة المنتظمة اي بين العجلة والسرعة وهذا يرجع على ان اهتمامنا بتأثير قوة العجلة تأثير حركي مصحوب دائماً بتأثير القوة .

ومع انه في الحالات العملية لا نهتم فقط بالنتيجة الحالية لتطبيق القوة على الجسم ولكن بالنتيجة النهائية التي نحصل عليها عندما تؤثر القوة لزمن محدود. عليه يلزمنا معرفة السرعة النهائية للجسم وهي حاصل ضرب عجلة × الزمن الذي عملت به هذه العجلة وهناك معضلة غالباً ما تقابلنا في دراسة الحركة الطبيعية وهي تغير مواصفات العجلة في كل من القيمة والاتجاه باستمرار الزمن (مع الزمن) ونتيجة لتغيير القوة في نفس الفترة .

ولكننا سوف نفترض أن هناك قيماً ثابتة للكميات التي تشملها الدراسة .

لنفرض أن القوة ولنأخذها اما وزن رطل او وزن كجم كما ذكر

---

(١) كمية الحركة: من ملاحظاتنا اليومية نعرف أنه لو حاولنا أن نحرك جسمين مختلفي الكتلة بسرعة واحدة فاننا نحتاج الى التأثير بقوة أكبر على الجسم ذي الكتلة الكبيرة .
أيضاً اذا حاولنا تحريك جسم بسرعة ما ثم حاولنا تحريكه بسرعة أكبر من السرعة الاولى فاننا نحتاج الى بذل مجهود أكبر بمعنى أننا نحتاج الى التأثير بقوة أكبر لذلك لكي نقارن بين حركة جسمين لا بد من اعتبار كتلتيهما وسرعتيهما معاً ولقد عبر نيوتن عن=

فيما سبق وباستخدام نفس المعادلة

$$32.\ F = m.a$$
$$9.8.F = m.a$$

وكما هو الحال في القانون الثاني قدم / رطل / ثانية النظام المتري على التوالي لنحصل على :

$32.\ F.T. = m.a.t. = m.v.$ الكمية × السرعة

$9,8\ F.T. = m.a.t. = m.v.$ الكمية × السرعة

حاصل ضرب القوة × الزمن التي تؤثر فيه (القوة × الزمن وزن رطل / ثانية) أو وزن كجم / ثانية

يعرف على أنه الدفع . وحاصل ضرب الكتلة × السرعة .

(ك × ع $\frac{\text{رطل قدم}}{\text{ثانية}}$) أو ($\frac{\text{كجم} \times \text{متر}}{\text{ثانية}}$) هو كمية الحركة للجسم التي يكتسبها الجسم نتيجة الدفع .

وأنه من الضروري جداً أن نشير الى أن الدفع وكمية الحركة[1] كلاهما متجه مصاحبين لبعضهما وفقاً للقانون الثاني للحركة وأن القوة التي تؤثر في اتجاه ما لزمن قصير سوف تكسب كمية حركة للجسم في نفس الاتجاه عدا

= المقياس الناشيء من الكتلة والسرعة بكمية الحركة وتعريفها هو : حاصل ضرب كتلة الجسم × سرعته اللحظية

ويجب أن نعلم أنها تتغير من لحظة الى أخرى بتغيير سرعة الجسم .

وحدة كمية الحركة = وحدة كتلة × وحدة سرعة = $\frac{\text{وحدة كتلة} \times \text{وحدة مسافة}}{\text{وحدة زمن}}$

الدفع = القوة × الزمن = التغير في كمية الحركة .

القوة الدفعية : هي قوة كبيرة جداً تؤثر في جسم فترة زمنية صغيرة جداً فتحدث تغيراً في كمية حركتين ومثال ذلك قوة انفجار البارود او قوة دفع حائط اوقوة دفع مضرب للكرة.

كمية الحركة التي يمتلكها الجسم أصلاً .

حفظ كمية الحركة : Conservation of momentum

الحالة الاستاتيكية لجسم موضوع على أرض أفقية يمكن نسبياً اظهاره نتيجة لالغاء القوى المتساوية والمضادة للوزن ورد فعل الأرض وهذا وفقاً للقانون الأول للحركة الذي ينكر وجود محصلة أي قوة خارجية عندما لا توجد عجلة .

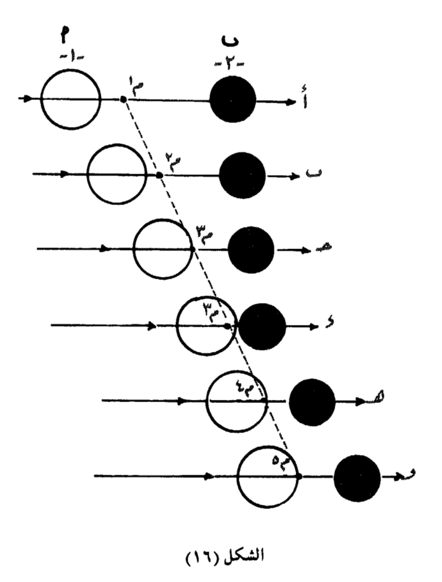
لو اخذنا هذا التساوي بين القوة ورد فعل الارض ممكن ان تمتد لتشمل الحالات التي تظهر فيها قوى بواسطة حركة الاجسام المتلامسة تؤثر على بعضها ، وعليه يمكن تعريف القانون الثالث .

(لكل فعل رد فعل مساو له في المقدار ومضاد له في الاتجاه) .

والفعل هو تأثير القوى على جسم ما ، اما رد الفعل فهو تأثير القوة المضاد لهذا الجسم على الجسم الأول .

خلال التصادم الموضح في شكل (١٦) على سبيل المثال بين جسمين أ ، ب لنفرض أولاً أنهما كانا يتحركان في نفس الاتجاه وان الجسم أ يتحرك بسرعة اكبر من (ب) ، فان القوة الناتجة من (ا) على (ب) في الاتجاه الأمامي في كل الوقت مساو لتلك الناتجة من (ب) على(أ) في الاتجاه العكسي .

ليس هذا فقط ولكن القوى تؤثر لحظياً في فترة زمنية محدودة عليه فهي تتبع الدفع الأمامي (حاصل كمية الحركة الأمامية) المعطى الى(ب) يكون مساوياً للدفع العكسي (النقص في كمية الحركة الأمامية) الناتج من (أ) عليه فاننا نصل الى نتيجة هامة جداً وهي أن القوى المتبادلة بين هذه الأجسام لم تعمل ذلك لأن الفرق بسيط لكمية الحركة للنظام ككل (أي أن التغيير في كمية الحركة للنظام ككل = صفر) لأن المعطى بواسطة عضو منه يفقد



الشكل (١٦)

بواسطة الآخر في نفس الاتجاه،هذا القانون هو قانون حفظ الطاقة أو كمية الحركة ذا أهمية كبرى في الميكانيكا ويمكن تطبيقه على الأفعال المتبادلة بين مركبات الأجسام في أي نظام .

وكامتداد للقانون الأول وبطريقة لاعتبار التفاعل بين الجسمين أ ، ب هو اعتبار أن الحركة لمركز ثقلهما المشترك حيث أننا فرضنا أن كتلة الجسم(أ) في (شكل ١٦) ضعف كتلة الجسم(ب) فان مركز الثقل المشترك لهما يكون بعيداً عن(ب) ضعف المسافة عن (أ)(أي أقرب الى الوزن الأكبر)وعليه يتحرك كما هو مبين في النقاط م١ ، م٢ ، م٣ ... الخ في أشكال منفصلة حتى يحدث التصادم بين أ ، ب ليبعدا عن بعضهما ، م تبقى محافظة على نفس المسافة النسبية عن كل منهما .

والنقطة الجديرة بالملاحظة بالرغم من أن (أ،ب) ليست لهما نفس السرعة التي كانت لهما قبل التصادم فان مركز كتلتهما المشترك لم يتأثر بذلك ، هذه النتيجة توضح امتداد القانون الاول للحركة لنظام الاجسام وللاجزاء المرافقة لنفس الجسم لا تغير من حركة م كما نرى ان م تكون هناك قوة دفع خارجية بالنسبة للنظام ككل تؤثر في أي جزء منه .

دور الأرض The role of the Earth

يعرف الدفع بأنه الكمية التي يمكن أن تزيد بالتحديد مع الزمن وهو دائماً مصحوباً بدفع آخر مساوٍ في المقدار ومضاد في الاتجاه يزيد ايضاً نفس الزيادة مع الزمن ولا شك ان جميع حركات الإنسان هي نتيجة لرد الفعل ولكننا لا نستطيع بسهولة ملاحظة رد الفعل لهذه الحركات لأن الجسم الآخر هو الكرة الارضية .

وفي مثال الاتزان الاستاتيكي لجسم واقف على الارض نجد ان كمية

الحركة الى اسفل تمنع من الزيادة بواسطة دفع معاكس لا يسير مع الزمن بنفس المعدل وفقاً لوزن الجسم . ولكن عند اعتبار أصل هذه القوة يرى أن الأرض يجب أن تدخل في المناقشة .

لا دفع وعليه لا زيادة في كمية الحركة تظهر في مجال بعيداً عن قوة الجاذبية الأرضية وعليه لو فكرنا في هذا كنظام من جسمين علينا أن ندرك أن القوة التي تجذب الجسم الصغير الى الأرض مساوية ومضادة في الإتجاه لتلك التي تجذب الأرض الى الجسم الصغير ، ولنتبع هذا فان الزيادة في كمية الحركة الى أسفل بواسطة السقوط الحر للجسم يكون مساوياً للزيادة في كمية الحركة الى أعلى بواسطة الأرض لأن كلاهما يأتي معاً وعندما يحدث التصادم فان كمية الحركة المتساوية والمتضادة تنتهي عن طريق الدفع الذي يحدث عند التلامس (أي أن الدفع = التغيير في كمية الحركة) .

وعلى أي حال نحن لا نعير اهتماماً لقوة جذب الأجسام الصغيرة القريبة من الأرض .

وكنتيجة للقانون الثالث لنيوتن نلاحظ أن القوى الموجودة في الطبيعة تحدث ازواجاً كل زوج منها من قوتين متساويتين في المقدار ومتضادتين في الاتجاه وتعملان في خط واحد وقد يظهر لنا أن وجود القوى ازواجاً متساوية ومتضادة يؤدي الى توازنها فينعدم أثرها في حركة الأجسام فتستمر في حركتها بسرعة منتظمة أ (تثبت في مواضعها ولكن هذا غير صحيح اذ إن هناك دائماً قوى أخرى فتعمل على التغلب عليها لوجود بعض العوامل الهامة كالاحتكاك ومقاومة الهواء . وما ظاهرة الارتقاء Take off في النشاط البشري وخاصة في النشاط الرياضي لتعطي ضوءاً على هذا القانون فالدفع الذي يدفع به اللاعب الأرض يسبب رد فعل مساوٍ له في المقدار ومضاد له في الاتجاه ولكن لاختلاف الحجم فان الأرض لا تتحرك من تحت أقدام اللاعب ولكن اللاعب في هذه الحالة هو الذي يتحرك وذلك

حسب زاوية الارتقاء وقوة دفع اللاعب للأرض .

وتعرف قوة رد فعل الأرض بأنها مقاومة سطح الارض والتي يمكن قياسها بواسطة بعض الأجهزة واذا كانت مقاومة سطح الأرض صغيرة جداً أو غير كافية فان رد الفعل سوف يتلاشى .

ولنعود معاً لمحاولة تطبيق قانون نيوتن على(شكل ١٣). فان الجسمين يمكن معاملتهما على أنهما نظام بسيط معزول له مركز مشترك . النقطة الغير قابلة للتوزيع لهما . وحدث للنظام ، فعل متبادل بين حركتي الجزئين يمكن بالطبع أن تحدث الحركة لكلا الجزئين بالنسبة لمركز الثقل .

احدى المركبات لا يمكن أن تبقى في حالة سكون بينما الاخرى تتحرك ، وعليه يجب أن نأخذ القياسات ليس بالنسبة لسطح الأرض ولكن بالنسبة لمركز الكتلة المشترك للأرض وكل شيء عليها أو قريب منها في الحياة العملية . على أية حال كتلة الأرض الكبيرة تؤكد لنا أن لا شيء يمكن عمله وله تأثير قياسي اما على وضعه أو دورانه ويمكن أخذه ببساطة كما لو كان خزان كبير محدود أو منبع لكمية الحركة الذي يبقى غير متأثر بالتغيرات لكمية الحركة التي تحدث به .

الحرارة الناتجة خلال مجموعة أجسام : Heat production within a system of bodies

من المناقشة السابقة علينا أن نقدر قيمة أن أي دفعة تكون غالباً مصحوبة بتغيير ملائم في كمية الحركة وأن الدفعات الداخلية لا تسبب تغيراً في كمية كمية الحركة الكلية التي تمتلكها مجموعة اجسام تكون فيما بينها نظاماً كما في شكل (١٦) فان كمية الحركة يمكن تمثيلها بواسطة الكتلة للنظام ككل ولنفرض انها تتركز في (م) وتتحرك عندما تتحرك (م) ولا تتغير نتيجة اي تفاعل بين مركبات الاجزاء .

الآن التصادم الحادث في شكل (١٦) بين الكرتين أ ، ب سوف يغير

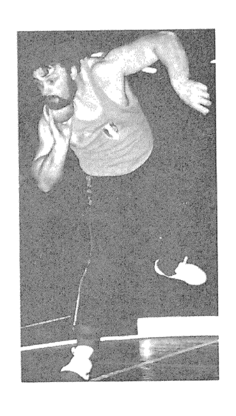
من سرعتيهما للاقتراب من م الى سرعات الابتعاد ولكن هناك تأثير هام وهو أن سرعتيها عند الابتعاد من م ومن بعضهما أقل من سرعتيهما عند الاقتراب .

واكثر من هذا تبين التجربة ان التصادم لو اعيد بثبات (على سبيل المثال بواسطة خيط مرن يربطهما معاً) نلاحظ ان أ ، ب سوف ينقصان بواسطة سرعات صغيرة كلما حدث التقارب حتى يصلان معاً بصفة دائمة عند م وهذه الظاهرة هي نقص في السرعة النسبية لمكونات الاجزاء لنظام معزول (بغض النظر عن الطريقة التي يحدث بها) يكون مصحوباً بتوليد حرارة فان الاجسام تصبح ساخنة عندما تنقص سرعتها النسبية وهذا مثال على تجريد الطاقة ، طاقة الحركة تحولت الى طاقة حرارية .

أمثلة على الدفع في الحركات الفيزيائية :

من دراستنا لقانون رد الفعل عرفنا أن هناك قوتين مؤثرتين بين كل كتلتين حرتين متحركتين وهاتان القوتان لهما نفس المقدار ولكنهما تعملان في اتجاهين متضادين ومن أهم الأمثلة في حياتنا اليومية أنه لو حاول انسان أن يبعد قاربين أو عربتين عن بعضهما فانهما سوف تتحركان ولكن في الاتجاه المضاد أما المثال الاخر لجلتين في حركة حرة ويوجد بينهما زنبرك مضغوط ينطلق الزنبرك فاننا نلاحظ قوتين متساويتين على كل من الجلتين ولكن أيضاً في اتجاهين متضادين .

كما أن تساوي قوة ضغط اليد على جلة حديدية أثناء الدفع فان هناك دفعاً آخر من الجلة على اليد = دفع اليد على الجلة .



وانتقال الدفع له أهمية خاصة في الحركة البشرية وخاصة في الحركات الرياضية . وبما أن الدفع Push هو تصادم جسم متحرك بجسم آخر ثابت أو متحرك ويحدث نتيجة لذلك ضغطاً بين هذين الجسمين وينتج تغير في السرعة وتسمى هذه القوة بالدفع. ومن أهم الأمثلة في الحركات الرياضية انتقال الدفع من كتلة الجسم (أي جسم اللاعب كله الى أداة الرمي) ويظهر ذلك في ألعاب القوى وانتقال الدفع من سلم الارتقاء للاعب الغطس ولاعب الجمباز الذي يحدث دفعاً قوياً بين جسم اللاعب وسلم الارتقاء والدفع الناتج أثناء حركة الانطلاق في العدو وأيضاً في حركات الوثب والقفز بأنواعه وأشكاله المتعددة ويجب أن نعرف أنه اذا كان الدفع أي اتجاه الدفع في اتجاه الحركة سمى بالدفع المركزي واذا كان الجسم متجهاً في خط سير الدفع سمي الدفع في خط مستقيم .

المبادىء الحركية

جهاز الحركة عند الانسان له مواصفات وخصائص ميكانيكية وبيولوجية لذلك يجب مراعاة هذه الخصائص . أي بمعنى آخر الاستخدام المناسب للقواعد الميكانيكية بناء على ضوء الاستعدادات والخصائص البيوميكانيكية المتوفرة لدى جهاز الحركة البشرية .

ولو تأملنا قليلاً الشعار المعروف (الأقوى – الأعلى – الأسرع) لعرفنا أن أغلب الأنشطة الانسانية تنادي بتحقيق ذلك وخاصة ما كان منها نشاطاً رياضياً أو مسابقات أو مقابلات ويعني هذا الشعار أن يبذل الانسان أكبر شغل ميكانيكي ضد المقاومات الخارجية . ذلك أنه يمكن دائماً التحقق من الانجاز الرياضي بدقة كبيرة أو صغيرة وذلك في أجزاء كسرية من الثانية ، وسنتيمترات ، وعدد الاصابات .

والأمثلة على ذلك كثيرة ومتنوعة فالوثب العالي والوثب الطويل ودفع والجلة ورمي الرمح واطاحة المطرقة بالاضافة الى الحركات المختلفة في رياضة الجمباز وخاصة في الحركات الدائرية بالاضافة الى الغطس أيضاً .

ان قطع مسافة محددة في اقصر زمن ليعبر عن مبدأ من المبادىء الثلاثة وهو الاسرع ويظهر ذلك بوضوح في العدو والجري والسباحة ، كما ان دفع الجلة لمسافة كبيرة وكذلك الرمح أو إطاحة المطرقة ليعبر بصدق عن المبدأ الثاني وهو الأقوى .

والقفز بالزانة لارتفاع كبير والوثب العالي لأعلى ارتفاع يعبر بصدق عن المبدأ الثالث وهو الأعلى .

الان لنتصور معاً أن انساناً قام بدفع جلة لمسافة معينة علينا أن نعرف أن هذه المسافة جاءت نتيجة للآتي : القوة + السرعة .

ولو فكرنا قليلاً في لاعب الوثب العالي عندما يقوم بعمل حركة الوثب فانه يحتاج الى اقتراب سريع وقوة دفع كبيرة (الارتقاء) وسرعة في انجاز الحركة والمروق فوق العارضة . والأمثلة كثيرة ولكننا يجب أن نعرف أن الشعار المعروف (الأعلى – الأقوى – الأسرع) لا يخلو منه أي نشاط انساني ، وهناك أربعة أسس حركية سوف نتكلم عنها باختصار قام بوضعها (هوخمود Hochmuth)

أولاً : قوة البداية والوضع المناسب للقوى القصوى :

لو فرض وكان هناك لاعبان متساويان في القوة وقاما بعمل حركة واحدة مع اختلاف كل منهما عن الآخر في توزيع مقادير قوته أثناء القيام بعمل الحركة والذي ترتب عليه ظهور منحنيين مختلفين بالطبع لقوة كل منهما مع الزمن .

والسؤال هنا : هل يؤثر ذلك على مقادير دفع القوة أو على المساحة الناتجة تحت دالة القوة مع الزمن ؟.

نستطيع أن نقول أنه اذا كانت مسافة العجلة غير محدودة فان ذلك لا يؤثر على خاصية منحنى القوة . وسوف يتساوى بذلك قوة كبيرة في زمن قصير على بذل قوة صغيرة في زمن كبير لماذا ؟ لأن حاصل الضرب سوف يكون واحداً .

أما اذا كانت مسافة العجلة محددة فيلزم أن يكون تأثير القوة كبيراً منذ

البداية حتى النهاية على طول مسافة العجلة حتّى نحصل على مساحة كبيرة لدفع القوة .

ولو أننا عرفنا الأسس التشريحية للانسان لتوقعنا أن هذا هو الحال في الحركات الرياضية لأن طول مسافة العجلة محدد بناء على أسس المبادىء التشريحية .

والآن لو أننا تأملنا حركة الوثب لأعلى التي تؤدي من وضع الوقوف ثني الركبتين دون القيام بأي حركة تمهيدية . فاننا سوف نلاحظ الآتي :

١ ــ ان قوى العضلات تعمل قبل بداية الوثب لأعلى وتوازي قوة الجاذبية اي أن محصلة القوى = صفر .

٢ ــ عندما يزيد مقدار قوة العضلات عن وزن الجسم (قوة الجاذبية الارضية) أي بمعنى أن تصبح محصلة القوى موجبة وتأخذ في في الاتجاه لأعلى يبدأ حدوث الحركة .

٣ ــ مع استمرار زياد القوة العضلية يتسارع الجسم بشدة بمعنى تزايد سرعته .

٤ ــ عند بداية الحركة كانت المفاصل مثنية وأثناء الحركة سوف تلاحظ أن المفاصل آخذة في المد الكامل وذلك بانتهاء الدفع وهذا يوضح لنا أن تأثير القوة قد انتهى وأن الجسم قد وصل الى سرعته القصوى في هذه اللحظة .

٥ ــ وقوع الجسم تحت تأثير الجاذبية الأرضية في مرحلة الطيران سوف يؤدي الى فرملة الحركة وبذلك تصبح المحصلة في هذه الحالة سالبة .

لذلك نرى أنه في حالة الوثب لأعلى من وضع الوقوف باضافة الحركة

لذلك نرى أنه في حالة الوثب لأعلى من وضع الوقوف باضافة حركة تمهيدية عن طريق ثني الركبتين قليلاً قبل عمل الوثب لأعلى فسوف يحدث :

١ ـ تعمل قوة الجاذبية على هبوط الجسم الى أسفل .

٢ ـ في هذه الحالة السابقة فان القوة العضلية سوف تعمل على ايقاف هذا الهبوط وبالطبع يكون تأثير القوة العضلية عكس اتجاه قوة الجاذبية الارضية أي ان هناك قوة ايجابية . وهذه القوة الايجابية هي التي تسمى بقوة البداية ، وهذا عكس ما حدث في الحركة الاولى .

٣ ـ يجب ملاحظة أنه لا يمكن حدوث ذلك الا اذا اتسمت عملية الانتقال من الثني الى المد بطريقة انسيابية .

وبناء على المثالين السابقين نجد أن هناك نوعين من الدفع الأول يتم أثناء الحركة التمهيدية ويظهر ذلك في المثال السابق في حركة ثني الركبتين قبل الوثب وهذا ما يطلق عليه البعض دفع الفرملة .

أما النوع الثاني : والذي يتم أثناء حركة الوثب الى أعلى والذي يسمى دفع العجلة . ومن الناحية البيولوجية نرى أن الفرملة الشديدة أثناء حركة ثني الركبتين مع الانتقال الانسيابي من حالة الثني الى المد سوف تجعل القوة العضلية تصل الى حدها الأقصى وذلك عند بداية حركة المد وستكون ألياف العضلات المادة عند نهاية عملية الفرملة قد تعدت عملية الاثارة المطلوبة أي أن هناك جهداً غير مطلوب لجميع الالياف العاملة وبالتالي سوف تحدث أن تجبر هذه الألياف على التمدد نتيجة للحمل الخارجي الذي جاء نتيجة لحركة الثني وتعمل على ايقاف ذلك بالقوة المطلقة لها . لذلك سوف تتواجد القوى القصوى عند بداية العجلة أي عند بداية المد في المثال السابق أي أن هناك

ضياع بجزء من الطاقة الميكانيكية لايقاف عملية الفرملة .

ونستطيع أن نوضح ذلك لأننا يجب أن نعرف أن مقدار الطاقة الكيميائية التي تتحول في العضلات بصورة سريعة الى طاقة ميكانيكية مقداراً محدداً وعليه يجب استغلال ذلك في احداث العجلة (التسارع) لأننا لو استخدمنا جزءاً من هذه الطاقة أو كلها في ايقاف الفرملة فان ذلك بالطبع سوف يؤثر على العجلة التزايدية وفي الواقع إن ثني الركبتين كاملاً في الحركات التمهيدية يعد أكثر ملاءمة من الناحية الميكانيكية حيث تتاح أكبر مسافة للعجلة وبالعكس من الناحية البيولوجية .

ثانياً : توافق الدفع الاضافي :

لا يختلف اثنان على أن اللاعب يستطيع أن يؤدي حركة الوثب العالي أو الوثب الطويل أو القفز بالزانة أو تخطيه الحواجز اذا كان قد تم اقترابه من الجري أفضل من أن تكون بداية هذه الحركات من الثبات فالحركات الرياضية تزداد شدتها اذا صحبتها بالطبع حركات تمهيدية مثل مرجحة الذواعين أو الرجلين ونفس الشيء بالنسبة لرمي الرمح أو دفع الجلة . ونحاول هنا أن نتحقق من صحة انتقال سرعة حركة الجري نسبياً الى سرعة حركات الوثب أو الرمي أو الدفع ومن الصعب أن تدرك ذلك بالعين المجردة ولتوضيح هذا الموقف نقف عند هذين المثالين .

أولاً : هناك توافق زمني بين اليد أو القدم يجب ان يصلا الى سرعتيهما القصوى لحظة وصول مركز ثقل الجسم الى سرعته القصوى ونحن نعلم نتيجة للأسس البيوميكانيكية أن السرعة تصل الى نهايتها القصوى عندما تصل العجلة الى صفر أي عندما ينتهي تأثير القوة . وهذه الحالة تظهر في الحياة الرياضية اذا كان غرض الحركة هو رمي أو دفع جسم غريب مثل الرمح أو الجلة أو الكرة بسرعة كبيرة باستخدام

اليد أو القدم ويعني ذلك لو كانت الحركة المطلوبة مثلاً وبايضاح أكثر لو أن الحركة هي رمي الرمح فيجب أن يحدث توافق تأثير قوى العضلات المادة للاطراف السفلى زمنياً مع تلك التي تعمل على تحريك الرمح أي عضلات الطرف العلوي بعجلة بواسطة الذراع الرامي من أجل أن تتم هذه العملية في زمن واحد وبطريقة انسيابية .

ثانياً : من المهم جداً أن توجه سرعات مراكز ثقل جميع أجزاء الجسم المشتركة في الحركة بقدر الامكان الى اتجاه عند وصولها الى السرعة القصوى لها .

لو قام لاعب بأداء حركة الوثب لأعلى بالقدمين من الوقوف نجد أن المرجحة بالذراعين تساعد حركة الطرف السفلى للجسم ولاتمام ذلك على أكمل وجه اذا كان امتداد مفاصل القوى والركبة والحوض الذي ينتهي عنده تأثير القوى قد صاحبه في نفس الوقت وصول سرعة مركز ثقل الذراعين في حركة الصعود لأعلى إلى أقصى درجة بمعنى وصول القوة العضلية التي تعمل على تحريك باقي الجسم بعجلة عن طريق مد المفاصل إلى أعلى .

وأن عمل الرجل الحرة في الوثب العالي يسري عليه أيضاً ذلك أثناء مرجحتها أي أنه يجب أن تصل السرعة العمودية للرجل الحرة إلى أقصى قيمة لها في نفس اللحظة التي ينتهي فيها مد الرجل الأخرى (قدم الإرتقاء) .

ثالثاً : رد الفعل :

يظهر هذا المبدأ بوضوح شديد في كثير من أنواع الحركات الهامة والحركات الرياضية ولقد بني هذا المبدأ على أساس قانون نيوتن وهو القانون الثالث الذي يوضح أن لكل فعل ردّ فعل مساو له في

المقدار ومضاد في الإتجاه . فحركة الجري السريع مثلاً نجد أن الذراع اليمنى تتحرك مع القدم اليسرى في نفس الوقت مما يتيح عنه حدوث حركة دوران عكسية في كل من الكتف والحوض على المحور الطولي للجسم . ونلاحظ التأثير المتبادل بين حركة الجزء العلوي والسفلي من الجسم في كثير من الحركات الرياضية .

وفي حركة الوثب الطويل عندما ثني الجذع للأمام في اتجـــاه المحور العرضي فسوف يحدث في نفس الوقت ثني الرجلين لأعلى على نفس المحور وذلك من أجل مساعدة مركز الثقل العام . وفي الوثب الطويل أيضاً عندما يتحكم اللاعب في ثني رجليه استطاع أن يحقق مسافة أكبر .

ويظهر أيضاً هذا المبدأ في حالة ملامسة الجسم لسطح الأرض أثناء الحركة الرياضية فالفعل ورد الفعل يصبح بين جسمين : جسم اللاعب وسطح الأرض وعليه يكون رد الفعل من الأرض . أما بالنسبة لرد الفعل ففي الواقع أن الأرض هي التي تقوم به ولكننا لا يمكننا أن نلاحظ ذلك نتيجة لكبر كتلة جسم الإنسان وكذلك لصغر عجلة الأرض .

رابعاً : بقاء كمية الحركة الزاوية : سوف نتكلم عنها بالتفصيل في الفصل السادس .

الطاقة : Energy

إذا استطاع الجسم أن يعمل شغلاً قيل أن له طاقة وتقاس الطاقة بمقدار الشغل الذي يمكن أن يعمله ، وللطاقة نوعان :

١ ــ طاقة حركة : **Kinetic Energy**

ومعناها النشاط الذي ينتجه الجسم أثناء الحركة أي الطاقة الكائنة في الجسم بفضل حركته .

٢ ــ طاقة وضع : Potential Energy

وهي الطاقة التي يكتسبها الجسم بفضل وضعه أو حالته وتقاس بمقدار الشكل الذي يستطيع أن يعمله أثناء انتقاله من وضعه إلى وضع آخر ، يسمى وضع الصفر أو حالة أخرى وتسمى الحالة الطبيعية .

انتقال الحركة : Motion Transmition

عندما نقول انتقال الحركة فذلك يعبر عن التدرج بحركة أجزاء الجسم المختلفة بما في ذلك المفاصل من حيث مظهرها الخارجي ، وهناك نوعاً رئيسياً لانتقال الحركة وأكثرها حدوثاً هي النقل من الجذع إلى الأعضاء ومن الأعضاء أيضاً إلى الجذع أي نقلاً متبادلاً وسوف نوضح ذلك بالتفصيل .

فعند قيامنا بتحليل حركة من الحركات الرياضية أو الحركات العامة وذلك عن طريق عرضها بالتصوير البطيء نستطيع أن نلاحظ أن القسم الرئيسي لهذه الحركة لا يحدث في المفاصل والأعضاء في وقت واحد وإنما يحدث ذلك بطريقة تدريجية . فمن المعروف أن الحركات الرياضية وبعض الحركات العامة لا تحدث إلا بمشاركة الجسم كله وهذه المشاركة بالطبع لا تحدث في آن واحد كما أنها تختلف من حيث سرعتها وشدتها وقوتها أيضاً فمفاصل الجسم البشري تختلف في عملها وذلك بناء على مكان عملها في الجسم ويجب أن يكون واضحاً أن نقل الحركة من مكان إلى مكان آخر أي من عضو إلى عضو يتم بطريقة أتوماتيكية أي أن الأعضاء تتحرك بشكل متداخل الواحد بعد الآخر دون شعور المشاهد أو اللاعب بهذا النقل بصورة كبيرة ، ونلاحظ على سبيل المثال ذلك في حركة دفع الجلة فتكون الحركة من الرجلين ثم من الجذع فالذراع وتنتهي بحركة الكف والأصابع .

مبادىء انتقال الحركة :

إنتقال الحركة من أهم الظواهر للحركة البشرية والرياضية بصورة عامة

فطريقة انتقال الحركة ترتبط أساساً بهدف الحركة المطلوب عملها أو القيام بها وعلى ذلك هناك أسس أو مبادىء هامة لانتقال الحركة .

إن القوة التي تقوم بتحريك الجسم تتوقف على عاملين : الكتلة والسرعة .

$$\text{إذاً القوة المتحركة} = \frac{\text{كتلة الجسم} \times \text{مربع السرعة}}{٢}$$

فمن المعلوم أن حجم الجذع بالنسبة للجسم البشري كبير نسبياً ولذلك عن طريق حركة بسيطة من الجذع تحدث حركة أو قوة متحركة كبيرة يستفاد منها في الرمي أو الدفع أو الضرب (ويقصد بالضرب — الكلمات كما يحدث في الملاكمة أو أثناء استخدام أي نوع من أنواع المضارب) .

ولذلك يظهر بوضوح أهمية حركة الجذع في انتقال الحركة من الجذع للاطراف وهناك أخطاء كبيرة يقع فيها المدربون أو مدرسو التربية الرياضية أو المهتمين بالحركة البشرية وذلك عندما يكون جل اهتمامهم مركز على حركة الأطراف دون الاهتمام بالدور الكبير الذي تلعبه حركة الجذع فنحن عندما نشاهد حركة الوثب العالي أو القفز بالزانة فاننا ننظر إلى الرجل فقط دون أدنى اهتمام بتأثير أو شكل حركة الجذع في أثناء الوثب والقفز وأيضاً في الرمي والقذف والدفع ننظر إلى حركة الذراع ولو قمنا بملاحظة سباح أثناء سباحته لكان كل اهتمامنا مركز على حركتي الرجلين والذراعين وعليه يجب معرفة أن للجذع دوراً رئيسياً وهاماً في حركات كثيرة ، ذلك لأنه مركز القوة بالإضافة لوقوع مركز ثقل الجسم فيه ولذلك كان نجاح كثير من الحركات الرياضية مرتبط بالدور الهام الذي يقوم به الجذع وذلك للاسباب الآتية :

١ — الجذع يعد أكبر أعضاء الجسم البشري .

٢ — يمثل الجذع نصف حجم الجسم تقريباً .

٣ ـ تحيط بالجذع أكبر وأقوى العضلات العاملة في الجسم مثل عضلات الظهر والبطن بالإضافة إلى العضلات التي تربطه بمفاصل الجسم الأخرى مثل عضلات الحوض والكتفين .

٤ ـ الجذع يشارك ويمنح القوة للأعضاء التي تقوم بأداء الحركات .

وسوف نوضح باختصار حركة الجذع في المستويات المختلفة .

حركة الجذع وتأثيرها في المستوى العمودي :

وهذا الوضع يتم والجذع محمولاً في وضع عمودي على الرجلين أو العكس أي أن يكون الجذع محمولاً على الذراعين ونوضح ذلك بالشرح الموجز التالي :

لو قمنا برمي الكرة مثلاً رمية قوية في اتجاه الأرض فسوف نلاحظ أن الجذع يسبق الحركة السريعة لليد التي ترمي الكرة (وهذه الحالة تسمى بحالة الهبوط) .

ولو قمنا برمي كرة طبية أو أي ثقل على أن يكون اتجاه الرمي لأعلى أو عندما نحاول الوثب لأعلى لمسك عقلة باليدين مثلاً (فهذه الحركة تمثل الصعود) إذن فان تأثير الجذع في حالتي الهبوط والصعود يعمل على تقوية الضربات أو الدفعات ولذلك لو قارنا بين حالتين من حالات رفع الأثقال وهما النتر والخطف فلو تم النتر بالذراعين فقط كما هو الحال في الضغط لما كان قوياً .

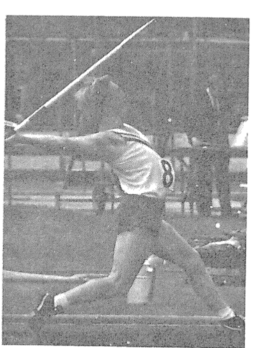
ونقول باختصار أن عمل الجذع العمودي هو تقوية حركة الأعضاء سواء كانت الذراعين أو الرجلين . ولذلك يظهر شكل آخر من أشكال عمل الجذع الهامة . فالجذع يعمل أحياناً وهو مستقيم مع انحناء بسيط قد لا يكون ظاهراً والشكل الآخر والذي يتطلب ثني أو مد الجذع فعندما يقوم الفلاح

بحفر الأرض مستخدماً أداة كبيرة فهذه الحركة تتم أسفل مستوى الركبتين ولذلك يسقط الجذع إلى الأمام وبالتالي تؤدي هذه الحركة إلى انثنائه وهذه الحركة تنتقل إلى الذراعين ثم إلى الأداة المستخدمة في الحفر وبالتالي تكون المحصلة النهائية ضربة قوية ويطلق على هذا النوع من العمل **سقوط الجذع** وبالطبع هذا السقوط لا يكون سلبياً وإلا كان الإنسان يسقط على الأرض، لذلك تقوم العضلات الأمامية وهي عضلات البطن بالعمل العضلي القوي في هذه الحالة. وكما هو معروف فحركات الجسم البشري متداخلة فلو أن هناك حركة مد لا بد أن يكون الجانب الآخر حركة ثني وتنطبق هذه القاعدة على عمل الجذع من أجل المشاركة القوية لتطوير القوة الناتجة والتي يتم نقلها إلى الأعضاء المشاركة في الحركة وأيضاً التي تقوم بأداء الحركة .

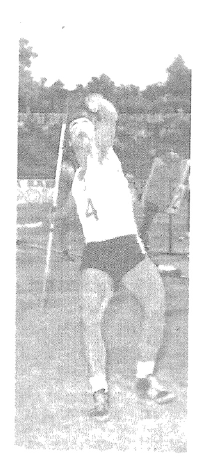
حركة الجذع وتأثيرها في المستوى الأفقي :

وتظهر هذه الحركة في الكلمات المستقيمة في الملاكمة حيث يكون تأثير اللكمة قوياً عند مشاركة الجذع فيها وهنا يعمل الجذع في المستوى الأفقي . وفي حصان الحلق تظهر أهمية حركة الجذع الأفقية وذلك في المرجحات الجانبية ، حيث لا تتم المرجحات بصورة سليمة وبحرية إلا إذا عمل الجذع بوضع أفقي من أجل انتقال الحركة إلى الرجلين، هذا عن الحركة الرياضية أما في الحركات العامة فعند دفع أو سحب عربة نلاحظ أن الجذع يأخذ وضعاً مائلاً على العربة في بداية الحركة ثم يتم انتقال الحركة إلى الأعضاء وخاصة الذراعين والتي تنتقل إلى العربة نفسها ولذلك تظهر أهمية حركة الجذع في المستوى الأفقي .

وفي حالات الرمي أو الدفع وكذلك في بعض الحالات الضربة الساحقة والإرسال في التنس الأرضي والكرة الطائرة يظهر الجذع مقوساً ويطلق على هذا الوضع القوس المشدود فعندما نلاحظ الرامي من الجانب وذلك في لحظة التخلص من الأداة (القرص – رمح – ارسال) نجد أن جذعه يتقوس



شكل يوضح القوس المشدود الخلفي



شكل يوضح
القوس المشدود الجانبي

للخلف ، وهذا يؤدي إلى انقباض عضلات الظهر الخلفية واستطالة العضلات الأمامية كعضلات البطن والعضلة الصدرية العظمى وتحدث هذه الحركة قبل التخلص من الأداة مباشرة وأهميتها في أنها تعد اللاعب لعمل حركة إنقباضية في عضلاته التي استطالت (تمددت) لإخراج أكبر قوة عضلية ممكنة عند الرمي ونسمي ذلك التقوس بالتقوس الأمامي لأن هناك تقوس جانبي وهو الذي يظهر في الجهة المقابلة للذراع الرامية لذلك تعمل العضلات الجانبية أيضاً في هذا القوس وتكمن أهمية هذا القوس في أنه يساعد في امتداد أو استطالة الألياف العضلية العمودية في الفترة التمهيدية وهذا بالطبع يعمل على التهيئة والاستعداد التام للقسم الرئيسي للحركة التي سوف يقوم اللاعب بتنفيذها .

أنواع الانتقال الحركي :

بناء على ما سبق يمكن أن نقسم الإنتقال الحركي إلى الآتي :
أولاً : الانتقال الحركي من الجذع إلى الأعضاء ويظهر في الصور الآتية :

أ ــ الانتقال الحركي من الجذع الى الرأس :

ويظهر ذلك بوضوح في حالة ضرب الكرة بالرأس حيث تبدأ الحركة من الجذع منتقلة بعد ذلك إلى الرأس .

ب ــ الانتقال الحركي من الجذع الى الذراعين :

ويظهر ذلك بوضوح في حالات الرمي والدفع والقذف والإطاحة والرفع ، فرمي الرمح ودفع الجلة وإطاحة المطرقة صور حية لذلك النقل حيث يتم ذلك عن طريق نقل الحركة من الجذع ثم إلى الذراعين ثم إلى الأداة .

ج ــ الانتقال الحركي من الجذع الى الرجلين :

ويظهر ذلك بوضوح في الأنواع المختلفة للسباحة مثل سباحة الفراشة

والكرول وأيضاً في بعض حالات ضرب الكرة حيث تبدأ الحركة في الجذع ثم إلى الفخذ والساق إلى أن تصل للقدم ثم إلى الأداة (ماء ـ كرات ـ أدوات مختلفة) .

ثانياً : الانتقال الحركي من الذراعين ـ الرجلين ـ الرأس إلى الجذع ، والذي يظهر في الصور الآتية :

أ ـ الانتقال الحركي من الرأس الى الجذع :

تقود الرأس الحركة وذلك بالنسبة للانسان أو الحيوان فلو أنك قمت بالقاء « قطة » من مكان مرتفع جداً فلسوف تسقط القطة على رجليها وذلك بفضل تحكم هذه القطة في وضع الرأس الذي يقود حركتها في ذلك الوقت أما بالنسبة للحركة البشرية سواء حركة عمل أو حركة رياضية فيظهر دور الرأس في هذه الحركات بوضوح فعندما يقوم لاعب الجمباز بعمل حركة Full Twisting Back somersault على الترامبولين ، أو على الأرض فان حركة الرأس تتحكم بصورة كبيرة في هذه الحركة أي تقود الحركة ونفس الدور القيادي لحركة الرأس يظهر في حركة Front somersault وفي حركة Dislocate على العقلة يظهر علل الرأس التوجيهي في هذه الحركة وليس القيادي وفي الواقع أن دور الرأس القيادي والتوجيهي في الجمباز له أهمية غير عادية وأيضاً في السباحة فعند القفز إلى الماء تقود الرأس حركة الجسم من حيث دورانه أو ثباته وأيضاً تظهر أهمية حركة الرأس بالنسبة للاعب الغطس والجسم البشري عندما يدور أفقياً يكون دور الرأس في هذه الحالة قيادة الجسم وعندما يدور الجسم عمودياً يكون دور الرأس هنا توجيهياً وفي الوثب العالي والقفز بالزانة وتخطي الحواجز أي في ألعاب الميدان والمضمار في ألعاب القوى والأمثلة أكثر وأكثر .

ب – الانتقال الحركي من الذراعين الى الجذع :

يظهر هذا الإنتقال بوضوح بعد مرحلة الإرتقاء أي عندما يكون اللاعب مستعداً لأداء الجزء الرئيسي للحركة أي في هذه الحالة عندما يترك اللاعب الأرض وتظهر حركة الذراعين بوضوح في مثل هذه الحالة وذلك بمرجحتهما أماماً وعالياً وعندما تترك الأرض تقل حركة مرجحة الذراعين والمثل الأكثر وضوحاً على ذلك هو وضع البداية في السباحة .

ج – الانتقال الحركي من الرجلين الى الجذع :

عند المشي أو الجري يتم الإنتقال الحركي من الرجلين إلى الجذع ولقد قمنا بشرح ذلك بالتفصيل في الموضوع السابق ونود أن نؤكد هنا أن النقل الحركي يظهر بوضوح نتيجة مرجحة القدم حيث يتم النقل من القدم إلى الجذع ومن الجذع إلى الذراعين .

الفصل السادس

الحركة الدورانية

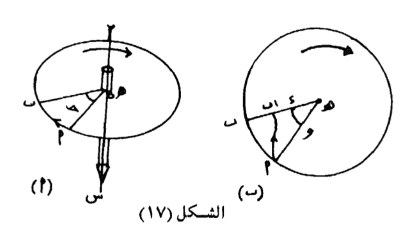
ROTARY MOTION

الحركة الدورانية : Rotary Motion

فكرة اساسية :

لقد سبق وأن أوضحنا الحركة الغير محدودة بخطوط مستقيمة وخاصة للحركة في دائرة . وهذا يمكن وصفه بحركة جسم بسيط كالمطرقة تتأرجح حول محور ثابت وذلك في نهاية الخيط المتصل بها . وعليه يمكن أن نتكلم عن معدل تغير الحركة ونصف قطر دائرة الحركة .

ولذلك فانه ليس من السهل أن نكون محكمين عندما تكون الحركة الدورانية لجسم غير متماسك يمكننا من إعادة توزيع سريع للكتلة ومن خلق حركة التوائية Twisting Motion في الهواء وظاهرياً ليس لها علاقة أو انتساب إلى أي محور ثابت للدوران . ولكي نحدد فكرنا ولنحدد أكثر باحكام الأجزاء التي سنستخدمها لنبدأ بدراسة خواص للمثال البسيط والعملي للحركة الدورانية وذلك لقرص دائري يتأرجح حول محور مادي خلال مركزه وعمودي على مستواه (لو فرضنا أن القرص أفقي فان المحور يكون رأسياً ماراً بمركزه) ولتوضيح ما نقصده علينا باستخدام ورقة لعب مقوى ونمرر خلال مركزها بخافة قلم حاد ، شكل (١٧) .



الشكل (١٧)

والآن نستطيع أن نلاحظ الآتي: حيث أن الحركة لحظية تشمل تغيير الوضع فان خلاصة الحركة الدورانية هي **تغير في الاتجاه.**

النقطة (أ) على محيط الدائرة على سبيل المثال سوف تغير موضعها من (أ) إلى (ب) عندما يدور القرص حول محوره وليتم هذا فانها تقطع مسافة خطية مقاسة بطول المنحنى الذي تأخذه على المحيط ولكن امتداد حركتها حول المحور سوف يحدد بواسطة التغيير في اتجاه الخط القطري (أ هـ) من اتجاهه الأصلي إلى الآخر (ب هـ) وهذا التغيير يعبر عنه بواسطة قيمة الزاوية (ب هـ أ) غالباً تسمى المسافة الزاوية والتي تزيد باستمرار دوران القرص وعليه فان السرعة الخطية لأي نقطة هي **معدل التغير في وضعه في اتجاه ما.**

وعليه فانه في الاتجاه الدوراني لسرعة الزاوية لنقطة حول المحور هو معدل الزيادة للزاوية مثل الزاوية (ب هـ أ) في اتجاه عقارب الساعة كما في شكل (١٧) أو عكس اتجاه عقارب الساعة.

إذن فالمقدمة للمواضيع الإتجاهية تفيد في أن الكميات الزاوية أو الدورانية هي متجهات ومع ذلك فإنه من الصعب رؤية كيف أن أي اتجاه يمكن أن يعزى إلى خط مثل (أ هـ) الذي يغير اتجاهه بالضرورة طوال الوقت.

ويمكن حل هذه الصعوبة أو توضيحها عندما نتأكد أن السرعة الزاوية لأي نقطة حول المحور يمكن تحديدها تماماً إذا عرفنا اتجاه المحور وكيفية الدوران الذي سيتم حوله فإن اتجاه متجه السرعة الزاوية هي تلك التي يوضحها اتجاه السهم الممثل لاتجاه الدوران حول المحور وكما يبدو في الرسم في اتجاه عقارب الساعة .

وحدات القياس : Units measurement

بكل الوضوح نحن بحاجة إلى التعامل مع وحدات لقياس السرعة الزاوية ونحن بالطبع نجد ملاءمة من وحدات القياس المعروفة لدينا كالدرجات أو حتى الدورات الكاملة في عمل كهذا .

وعلى أي حال الطريقة المثالية لمعرفة القياس لأي زاوية هي بواسطة النسبة بين المسافات التي سبق ذكرها طول القوس (أ ب) من المحيط ونصف القطر (أ هـ) الشكل السابق عندما = هذه النسبة واحد صحيح ،أي أنه عندما يتساوى طول القوس مع طول نصف القطر فان الزاوية المركزية المقابلة للقوس (أ ب) تساوي واحد one radian .

وأنه يجب معرفة أن قيمة الزاوية لا تعتمد على أطوال الأضلاع الخاصة بها الزاوية (أهـ̂ب) في الشكل والتي تعرف بالنسبة بين القوس (ود) لنصف القطر (هـ و) كما هي أيضاً بنفس النسبة بين القوس (أ ب) ونصف القطر (ب هـ) .

وأصبح واضحاً الآن أن جميع النقط على القرص لها نفس السرعة الزاوية حول المركز (هـ) عليه فإن سرعتها الخطية تزيد من المحور في الإتجاه الخارجي وتتناسب تناسباً طردياً مع بعدها عن محور الدوران والحقيقة الواضحة دائماً بالنسبة للجسم المتماسك المتأرجح حول محور مثبت بعلامة معه.

أما المناقشة القادمة لحالة جسم غير متماسك ونفترض بدلاً من ان تكون

النقطة (أ) مثبتة على محيط القرص أن تكون حرة الحركة في اتجاه (هـ) عندما يدور القرص (كذبابة تتحرك على السطح ولكن ليس بسرعة ثابتة).

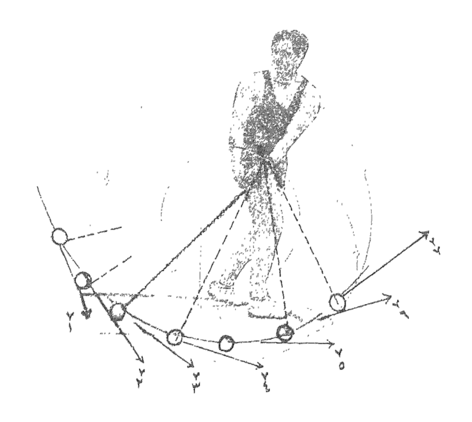
وعليه فان الممر سيكون غير منتظم متعرج (أ ب) شكل (١٧ب) بدلاً من الممر الدائري (أ ب) وحتى لو أخذنا هذا الممر المتعرج فانه لا يزال يحتل نفس الزاوية (أ هـ ب) حول المحور . عليه فان السرعة الزاوية حتى هذه اللحظة هي كما لو كانت النقطة (أ) غير حرة الحركة نحو المركز (هـ)

(إذن السرعة الزاوية تعتمد على معدل تغير اتجاه الخط الذي يصل المركز بالنقطة موضع الدراسة ولا يعتمد على الممر الذي تسلكه النقطة موضوع الدراسة) .

غالباً ما تقابلنا في الحركة الدورانية البشرية صعوبات وذلك لعدم توفر نقطة ثابتة مثل التي يتحرك حولها الجسم بحركة بسيطة، حتى في رمي المطرقة التي غالباً ما تمثل توضيحاً بسيطاً لهذه القواعد ، المسافة بين الكرة (الجلة الحديدية) واليد (يد المطرقة) لا يمكن اعتبارها نصف قطر المنحنى الذي تدور حوله لأن ماسك اليد نفسه يتحرك بسرعة ثابتة كلما تحرك المقذوف حوله في دائرة .

والذي يمكن أن نقوله أنه كلما تغير اتجاه الخيط فان رأس المطرقة له سرعة زاوية بالنسبة إلى يد المطرقة ، الكمية المقاسة بواسطة معدل التغيير في هـــذا الاتجاه فان المركز اللحظي الحقيقي لهذه الحركة يمكن اعتباره النقطة (د) شكل رقم (١٧) .

إن حالة شاذة على ما يبدو عندما يتحرك جزئي في خط مستقيم (الحركة التي تظهر لتنقص أي ملامح دورانية مهما كانت) فانه يرى أنه يمتلك سرعة زاوية (ليس بالضرورة ثابتة) حول كل نقطة ثابتة ليست في ممره (أي خط حركته) .



مسار المطرقة الدائري وهو يوصح السرعة الزاوية التي تعتمد على معدل التغيير في اتجاه الخط الذي يصل المركز بالنقطة موصع الدراسة ، مع معرفة انه على تغير اتجاه خيط المطرقة كلما تغيرت السرعة الزاوية لرأس المطرقة وهي تنتقل من ١ ـ ٧ بسرعات زاوية مختلفة .

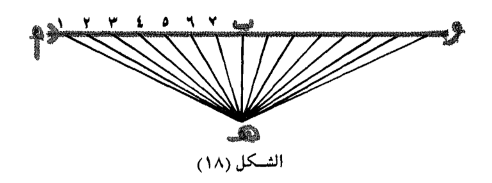
وفي شكل (١٨) عل سبيل المثال النقطة (أ) تتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم (أ و) قاطعة مسافات متساوية في فترات متساوية من الزمن ، واضح أن الخط الذي يصل النقطة (أ) بالنقطة (هـ) يغير الاتجاه في اتجاه عقارب الساعة عاملاً زاوية حول (هـ) بمعدل يزيد حتى يصل إلى النقطة (ب) ويبدأ في النقصان عند (أ) وتتعدل النقطة (ب) .

ومثال على العجلة الزاوية والنقص الزاوي هو حركة رأس المتفرج القريب من الخطوط الجانبية للعب التنس حيث يتتبع حركة الكرة في خط مستقيم من ناحية إلى أخرى على الشبكة .

العلاقة بين الكميات الخطية والكميات الدورانية :

Relation between Linear and Rotational quantities

بالإشارة إلى شكل (١٧) سنرى أنه كلما زادت الزاوية الممسوحة بواسطة النقطة (أ) والمقاسة بالراديان عن طريق قسمة طول القوس (أ ب) على نصف قطره (حـ) عليه فان السرعة الزاوية تقاس راديان / ثانية وكذلك يمكن حسابها عن طريق قسمة السرعة الخطية على نصف القطر (حـ) وعليه بالنسبة لجسم متماسك يدور حول محور مثبت وفقاً له فان كمياته الدورانيــة « المسافة » السرعة الزاوية ، العجلة الزاوية لجميع النقط عليه » يمكن الحصول عليها من الكميات الخطية المرافقة له عن طريق قسمتها على نصف القطر .



الشــكل (١٨)

ديناميكا الحركة الدورانية : Dynamics of Rotation

عزم القصور الذاتي : Moment of inertia

لقد سبق وأن أوضحنا أن القوة التي تؤثر لزمن ما في اتجاه ثابت سوف تكسب الجسم زيادة في السرعة « وعليه في كمية الحركة الخطية أيضاً » في نفس الاتجاه وفقاً للعلاقة :

٣٢ ق × ٢ن = ك ع		32. F.T. = m.v.
	او	
٩,٨ ق × ن = ك ع		9.8. F.T. = m.v.

ولقد لاحظنا فيما سبق أيضاً التأثير الدوراني لقوة غير متمركزة حيث أنها تعتمد على العزم الدوراني حول مركز كتلة الجسم . وإنه لمن المعقول أن نثبت أن قوة ما تؤثر لزمن ما تمنح الجسم كمية حركة دورانية ، وعليه عندما يؤثر عزم دوراني لزمن ما وهو ما نسميه دافع **أو محرك دوراني أو محرك زاوي** وهو بالتالي سوف يكسب الجسم كمية حركة دورانية أو زاوية .

إن الحركات أو القفزات الرأسية البسيطة التي يؤديها لاعب على جهاز الترامبولين Trampolinist وذلك من أجل الإرتفاع النهائي لوثبة أو لحركة ما والتي قد جاءت نتيجة لعدة حركات أو وثبات أو دفعات متتالية توجه بقدر الإمكان خلال مركز الثقل والأخيرة منها على أي حال تكون غير متمركزة Eccentric بالنسبة إلى م مركز الثقل وحاصل ضرب عزمها الدوراني حول المحور العرضي المار بالنقطة (م) والزمن الذي يؤثر فيه ذلك هو مقياس العزم الدوراني الذي يكسبه الجسم حول هذا المحور ، ونتيجة لهذا فان مركز الكتلة يتحرك رأسياً أو هو كذلك تقريباً بينما كل الجسم يلف (بتشقلب حوله .).

والخبرة العملية توضح لنا مشكلة التردد أو الكسل لتغيير معدل دورانه

كما يفعل هذا في تغير سرعته الخطية . ولكن الدوران الذاتي للجسم يعتمد ليس فقط على كتلة ولكنه يعتمد أيضاً على طريقة توزيع الكتلة حول محور الدوران .

فعلى سبيل المثال نجد صعوبة عندما نحاول إدارة (تدوير) « زانة أو عصا طويلة أو رمح » في وضع أفقي حول كتفك بسرعة ، وكذلك كم من الصعب أن توقف حركتها بسرعة بمجرد أن تبدأ الحركة حتى نفس هذه الزانة أو العصا أو الرمح يمكن أن تعطيها حركة دورانية حول محورها الطولي بسهولة جداً ويمكن أن نعيدها إلى السكون بسهولة أيضاً . وهذا ليس غريباً لأنه في الحالة الأولى وبالتأكيد معظم أجزاء الرمح أو الزانة أو العصا . بعيدة عن محور الدوران الذي تدور حوله القامة أو الرمح ... الخ و « أي **أن توزيع الكتلة حول محور الدوران غير منتظم** » .

وعليه يعطي الجسم سرعة خطية عالية جداً حتى ولو كانت الزانة أو الرمح .... الخ تدور ببطء .

ويجب أن نعرف أن هناك درجات صعوبة متفاوتة عندما نحاول إعطاء عجلة زاوية لأجسام بأشكال مختلفة أو لنفس الجسم حول محاور مختلفة ومن أمثلة ذلك الشقلبة الأمامية على اليدين وعمل دورة أمامية مكورة .

Hand spring forward somersault

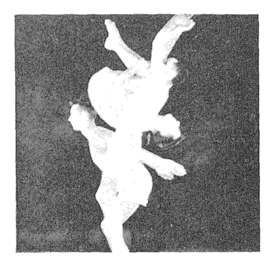
هذه الحركة تختلف في درجة صعوبتها عن هذه الحركة .

Forward double somersault with barani in and full twist our.

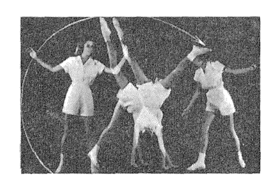
أو حركة أخرى مثل حركة العجلة مع نصف لفة مع دورة كاملة خلفية مستقيمة . Rounboff and back somersault straight

ولو قارنا هذه الحركة وحركة الشقلبة الجانبية (العجلة) Cart Wheel لوجدنا أنه كلما زادت درجة صعوبة الحركة فان الجسم يأخذ عجلة زاوية تختلف من حركة إلى أخرى وذلك حسب مكونات الحركة وطريقة البداية .

بعض الاشكال التى توضح درجات الصعوبة عند محاولتنا اعطاء عجلة زاوية للجسم البشرى :



شقلبة خلفية مكورة
Back somersault



عجلة جانبية
cartwheel

العلاقات الرياضية : Mathematical relationships

في الحقيقة عزم القصور الذاتي هو العامل الذي يؤثر في الحركة الدورانية نفس تأثير الكتلة في الحركة الخطية ، كما أن كتلة الجسم تحدد قيمة العجلة الخطية التي تكسبه إياه وهي قوة معلومة تؤثر عليه .

فإن عزم القصور الذاتي يحدد قيمة العجلة الزاوية التي يكسبها الجسم نتيجة لتأثير ازدواج معلوم حول محور ثابت يدور حول الجسم هذا الإزدواج هو العزم الدوراني .

والقوة = حاصل ضرب الكتلة × العجلة الخطية .

والعزم = حاصل ضرب عزم القصور الذاتي × العجلة الزاوية .

وفي دراستنا للحركة البشرية نادراً ما نتعامل مع العجلة الزاوية لأن السرعة الزاوية الحاصلة بواسطة الجسم ذات تطابق كبير ، عليه نتأكد أن كمية الحركة الخطية هي :

حاصل ضرب = الكتلة × السرعة

والكمية المطلوبة هي كمية الحركة الزاوية وهي حاصل ضرب :

عزم القصور الذاتي × السرعة الزاوية، وبطريقة مماثلة نلاحظ أن الدافع الزاوي هو العامل الذي يكسب الجسم كمية حركة زاوية وهي حاصل ضرب :

الإزدواج × الزمن الذي يؤثر فيه

وهي الكمية المناظرة لحاصل الضرب :

القوة × الزمن × الحركة الخطية

ونستطيع ان نعبر عن الدفع الزاوي ، وكمية الحركة الزاوية ، بالرموز الرياضية ونضعها في معادلات مماثلة للحركة الخطية وبالنظامين الإنجليزي والدولي .

وعلينا أن نتذكر أن الإزدواج T Torque

هو حاصل ضرب

القوة × البعد عن محور الدوران = عزم القوة حول محور الدوران .

وهو حاصل ضرب القوة (F) في الطول (L) طول الذراع

أو البعد العمودي على المحور وعليه يضرب هذا الحاصل في الزمن (T)

الذي يؤثر فيه الإزدواج ونحصل على الدفع الزاوي (P)

على هذا الشكل

الدفع الزاوي (د) = ق × ل× ن $P = F.L.T.$

ولعمل نفس الشيء لكمية الحركة الزاوية يلزمنا عزم القصور الذاتي (I) مضروباً في السرعة الزاوية (W) ويرمز لكمية الحركة الزاوية (J)

عليه : كمية الحركة الزاوية = عزم القصور الذاتي × السرعة الزاوية $J = I.W.$ وعليه يمكن كتابة معادلة الدفع الزاوي مع كمية الحركة الزاوية . ولو عبرنا عن القوة ( ) بالوحدات المطلقة وباستخدام الوحدات التثاقلية المناسبة وزن – رطل أو وزن كجم نحصل على الآتي :

الدفع = كمية الحركة .

بالنظام الإنجليزي ٣٢ق ×ل×ن = عزم القصور الذاتي × السرعة الزاوية
$32.\ F.L.T. = I.W.$
والنظام الدولي ٩,٨×ق×ل×ن = عزم القصور الذاتي × السرعة الزاوية
$9,8\ .F.L.T. = IW$

(ل) مقاسة بالقدم أو المتر على التوالي ، (ن) بالثانية .

(والسرعة الزاوية W) بالردايان / ثانية Radian / sec

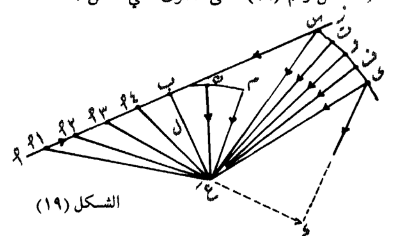
ولفحص أبعاد المعادلات بواسطة نظرية الأبعاد وهي :

الطول ــ الكتلة ــ الزمن ، نلاحظ أن وحدات عزم القصور الذاتي (I) هي رطل ــ قدم² أو كجم متر² وهذا ما سنوضحه فيما بعد .

كمية الحركة الزاوية المحلية (القريبة) والبعيدة :
Remote and Local Angular momentum

نحن الآن بصدد الطرق التي سوف نناقش بها الكميات المذكورة أعلاه خاصة في جسم الإنسان في مجرى نشاطه الدوراني :

١ ــ في حالة الجسم المادي أولاً دعنا نعتبر جسماً مادياً كتلته (م) وفي حالة سكون شكل رقم (١٩)، على مستوى أفقي أملس .



الشكل (١٩)

افترض أن (عَ) نقطة ثابتة على نفس السطح النقطة التي ستعرفها فيما بعد هي نقطة الأصل .

افترض الآن أن الجسم المادي أثرنا عليه بقوة دفعية خطية لفترة قصيرة ق × ن Force في الإتجاه من أ إلى (ز) عليه ستتحرك خلال (أ ز) بسرعة ثابتة (٧) لتعطي المعادلة:

الدفع ← F.T. = M.N ←ــــ كمية الحركة

الدفع = كمية الحركة ق × ن = ك ×ع

(ق) يمكن أن تعبر عنها بالوحدات المطلقة في كلا النظامين .

والآن وكما هو واضح بينما كانت القوة (ق) تؤثر على الجسم فإن لها عزم دوران حول (عَ) وللحصول على هذا العزم نضرب القوة (ق) × الطول العمودي الساقط من النقطة (عَ) على الخط (أز) التي تؤثر فيه القوة (خط تأثير القوة) وهذا البعد العمودي كما هو مبين في الرسم (بعَ) وله طول (ل) هذا يوضح أن الدفع الزاوي الذي وقع على الجسم (ع) هو حاصل ضرب الدفع الخطي (f.t.) مضروباً في البعد العمودي (ق ن ل F.T.L.) وهذا هو الذي يعطي كمية الحركة الدورانية وهي M.V.L. (ل ع ل) حول (عَ) .

ومن هنا نستطيع أن نصل إلى نتيجة هامة ومفيدة وهي (وحدات مطلقة F)

$$\frac{F.T.L. = m.r.l}{\text{ك} \times \text{ع} \times \text{ل} = \text{ق} \times \text{ن} \times \text{ل}}$$

هذه النتيجة توضح إلى حد ما أن كمية الحركة الزاوية للجسيم المادي (ولكن ليس بالضرورة لأي جسيم آخر) حول محور معلوم (نقطة أصل معلومة) يعبر عنها بدلالة الكتلة (م) والسرعة الخطية القياسية (ع) والمسافة العمودية (ل) من نقطة الأصل إلى خط سير الجسيم .

ويمكن إعتبار أن للحركة الخطية حركة دورانية أشرنا لها في الشكل رقم (١٨) على اعتبار أن الحركة بالنسبة لنقطة أصل (محور دوران) بعيد جداً واحتمال تطبيق ذلك على الحركة الإنسانية يمكن إذا تذكرنا أن مركز الكتلة لجسم ممتد يمكن اعتباره على أنه جسيم ذا كتلة خاضعاً لنفس القوانين كأي جسم آخر وبهذا يكون قادراً على عمل كمية الحركة الدورانية البعيدة حول أي نقطة ليست مباشرة في ممره .

التمثيل الهندسي لكمية الحركة الزاوية : Geometrical representation of angular momentum

لو اعتبرنا أن نقط الجسيم المتتابعة ($أ_١$ $أ_٢$ $أ_٣$ ... الخ) هي تلك التي

تحدث في نهاية كل ثانية إذن فان كل مسافة صغيرة أ$_{١}$ أ$_{٢}$، أ$_{٣}$ أ$_{٤}$ ... الخ)
تكون عبارة عن (ع) السرعة وهي المسافة المقطوعة بواسطة الجسيم في
وحدة الزمن (الثانية) .

وعليه فإننا نلاحظ أن جميع المثلثات التي لها رأس مشترك (عَ) ولها
قواعد متساوية وهي تلك المسافات ولها نفس الإرتفاع . (ل) عليه فإن لها
نفس المساحة والتي تساوي (١/٢ع×ل) ١/٢ع ل وهي المساحة الممسوحة
حول نقطة الأصل في وحدة الزمن ، كمية الحركة الزاوية (ك ع ل m.v.l.)
للجسيم حول (عَ) يمكن أن نعبر عنها كحاصل ضرب ضعف كتلة في
المساحة الممسوحة حول نقطة الأصل (عَ) هذه العلاقة تبين كمية الحركة
الزاوية والمساحة هي إحدى النتائج ذات التطبيقات الهامة .

أي أن الجسم يمسح في وحدة الزمن حول نقطة الأصل (نقطة الدوران)
مسافة تقدر بحاصل ضرب المسافة المقطوعة × وحدة الزمن × طول العمود
الساقط من نقطة الأصل على هذه المسافة .

ولما كانت المسافة المقطوعة في وحدة الزمن هي السرعة (ع) والعمود
الساقط هو الطول (ل)

ومساحة المثلث هي $\frac{١}{٢}$ القاعدة × الإرتفاع

عليه فالمساحة $\frac{١}{٢}$ × ع (السرعة) × ل $\frac{1}{2}$ v x l

ولما كانت كمية الحركة الزاوية هي حاصل ضرب: الكتلة × السرعة ×
الطول العمودي على محور الدوران ك × ع × ل . m x v x l

وبمقارنة المعادلتين :

مع (١) $\frac{١}{٢}$ ع × ل $\frac{1}{2}$ v x l

(٢) $\frac{١}{٢}$ ك × ع × ل m x v x l

نلاحظ أن المعادلة الثانية هي حاصل ضرب ضعف الكتلة zm × مساحة المثلث ك × ع ×ل = ٢ × ك × $\frac{١}{٢}$ × ع × ل $m \times v \times L = zm \times \frac{1}{2} v \times L$

ك × ع ×ل m.v.l.

ولما كانت $\frac{١}{٢}$ ع × ل $\frac{1}{2} v \times l$ هي مساحة المثلث .

∴ كمية الحركة الزاوية= ضعف مساحة المثلث×الكتلة .

ثبوت كمية الحركة الزاوية في الصورة البعيدة :

Constancy of angluar momentum of the remote form

هناك تغيرات مثيرة في حركة الجسيم أ (شكل ١٩) التي يمكن توضيحها الآن .

نفرض أولاً عندما وصل الجسيم أ إلى النقطة (ب) فإنه قد قيدت حركته بحيث لا يتحرك بعد في خط مستقيم ولكن يمكن أن يتحرك في دائرة حول (عَ) وهذا يمكن لو أننا شددناه بواسطة خيط عديم الوزن طول ( ) عند النقطة (ب) وتكون حركته في الممر الدائري هي (ب ــ نــم.. الخ) وهذا الممر الدائري يحدث نتيجة الشد في الخيط الذي دائماً نحو المركز (عَ) وعليه فان الشد ليس له عزم دوراني حول (عَ) أي عزم الشد حول (عَ) يساوي صفر وذلك لمرور قوة الشد في النقطة (عَ) وفي هذه الحالة لايوجد تغير في كمية الحركة الزاوية للجسيم حول المركز (عَ) وتبقى كمية الحركة الزاوية للجسيم حول المركز (ع) وتبقى كمية الحركة هي ك .ع .ل وهذا يجعلنا نرى أن الجسيم يستمر بحركة (٧) بدون تغير ويستمر في مسح مساحة حول (عَ) بنفس المعدل السابق .

كمية الحركة الزاوية مستقلة عن الممر الذي تقيّد فيه حركة الجسيم طالما ان هذا التقيد لا يعطي دفعاً زاوياً للجسيم حول المركز . وهذا يمكن ان

يوضح اكثر باعتبار وضع الجسيم لو سمحنا له ان يستمر في الخط (أ ز) الى نقطة ابعد كالنقطة (س) قبل ان نربط الخيط ، ولو كان الخيط غير مرن فانه فجأة سوف ينقص مركبة السرعة الخطية للجسيم في اتجاه (عَ س) الى الصفر تاركاً الجسيم يتحرك في الممر الدائري (س ت و .... الخ) بسرعة خطية مخفضة . والان بالرغم من هذا التقيد المفاجيء في مواصفات حركته (وبصفة خاصة بعض النقص في كمية الحركة الخطية) سوف لا يكون هناك اي تغير في كمية الحركة الزاوية حول (عَ) . وعليه مرة ثانية فان الدفع المفاجيء الذي غير ممر حركة الجسيم كان متجهاً نحو (عَ) وليس له ازدواج حول (عَ) وعليه مرة أخرى فان المساحات (عَ ب و) ، (عَ س ت ... الخ) الممسوحة في وحدة الزمن مساوية لمساحة تلك المثلثات الممسوحة سابقاً .

لو افترضنا اننا استخدمنا خيطاً مرناً او لو أن هزة مفاجئة اعطيت للجسيم نحو (عَ) ولنقترح ذلك عندما يصل الجسيم النقطة (ى) فان نفس النتيجة نحصل عليها بالطبع .

في الحالة الأخيرة فان حاصل ضرب السرعة في البعد العمودي×عَ هو نفس قيمة حاصل ضرب السرعة (ع × ل) في المراحل الاولى للحركة .

عليه يمكن استنتاج ان كمية الحركة الزاوية البعيدة لجسيم حول (عَ) تبقى ثابتة تؤثر على الجسيم دفعاً له ازدواج حول (عَ) .

عزم القصور الذاتي لجسيم حول محور ثابت :

Moment of inertia of aparticle about a fixed axis

في جميع ما سبق فان المحور الذي درسنا حوله الحركة الدورانية للجسيم كان دائماً يمر بالنقطة (عَ) وعمودياً على مستوى الشكل . ولايجاد عزم القصور الذاتي للجسيم حول هذا المحور يمكن استخدام اي جزء من

شكل (١٩) حيث اننا نعرف ان كمية الحركة الزاوية له هي (ك ع ل) وبدون تكملة الحركة هناك ولكن الممر الدائري من النقطة (ب) الى (ن م .... الخ) مقنعة لان الجسم له سرعة زاوية ثابتة (ى) مادية الى (ع / ل) في ممر بنصف قطر ثابت (ل) وعليه يمكن كتابة :

ك×ع × ل= عزم القصور الذاتي × السرعة الزاوية

ولما كانت السرعة الزاوية $= \frac{ع}{ل} = \frac{\text{السرعة الخطية}}{\text{نصف القطر}}$

عليه ك ×ع × ل =عزم القصور الذاتي $\times \frac{ع}{ل}$

اذن عزم القصور الذاتي (I) =ك×ل^{٢}

= الكتلة × مربع نصف القطر

وعليه فإن عزم القصور الذاتي لجسم كتلته (ك) ويدور حول محور وعلى بعد عمودي من المحور طوله (نق)

يعطي بالعلاقة =

عزم القصور الذاتي= ك نق^{٢}

حيث نق = نصف قطر الدائرة = البعد العمودي عن محور الدوران .

حالة الجسم الممتد حول محور بعيد :
The case of an extended body about a remote axis

بالنظر الى شكل (٢٠) نستطيع ان نلاحظ انه تطوير للشكل السابق ولكن بدلاً من ان نرى الممر المستقيم لجسيم ذي وزن فانه يرينا الممر المشابه لمركز الكتلة (م) لجسم متماسك موضوعاً في وضع مشابه بالنسبةلنقطة الاصل (عَ) النقطة (م) يمكن ان تكون مركز الكتلة لجسم انسان (اي لجسم غير متماسك) وكما في المناقشة السابقة الحركة ستأخذ على مستوى

أفقي أملس وجميع المحاور التي ترافق الدوران تكون عمودية على مستوى الشكل (م) ومحور الدوران الذي يمر بالنقطة (عَ) لا يتصل باي طريقة كانت مع الجسم (ذلك لانه بعيد كلياً عنه) .

ومن الناحية الديناميكية فإن هذا الوضع سيكون مطابقاً للوضع السابق في الشكل رقم (١٩) لو فرض اننا طبقنا نفس كمية الدفع الخطي ق×ن في خط مستقيم خلال النقطة (م) فإن الخط (أ ز) لهذا الجسم الممتد سوف يتحرك بدون دوران وسرعة النقطة (م) تعطى بواسطة المعادلة :

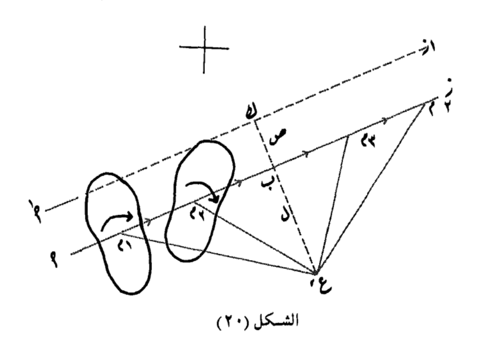
ق×ن=ك ع   F.T. = mv

وكمية الحركة الزاوية له حول المحور البعيد (الذي لا يمر بالجسم) تعطى بالعلاقة ك×ع×ل ـــ m.v.l. كما سبق بالاضافة الى كون الدفع الزاوي هو المسئول عنه .

والان علينا ان نفترض انه بدلاً من ان يكون هذا الدفع مباشرة يؤثر في الخط (أ ز) ليكن تأثيره على خط مواز له ولكن غير متمركز (لا يمر بمركز الثقل) ومن معرفتنا لخواص مركز الكتلة (م) الاساسية فانها خاضعة لقوانين الحركة بغض النظر عن نقطة تأثير القوة على الجسم . سنرى ان سرعته ستكون هي بالضبط نفس سرعته كما لو كانت تحت تأثير الدفع المباشر وسوف تتحرك خلال (أ ز) بنفس السرعة (v) واكثر من ذلك فان (م) تعامل كجسم مادي وكمية حركته الزاوية حول (ع) تعطى بالعلاقة ك×ع×ل m.v.l كما سبق .

هذه هي كمية الحركة الزاوية حول المحور البعيد وهي في اتجاه عقارب الساعة،ومن الواضح أيضاً أنه ليس فقط هذه هي كمية الحركة الزاوية التي يمتلكها الجسم حول (عَ) حيث أنه في هذا الشكل تعرض لدفع زاوي أكبر من ذلك الذي ادى الى ان تتحرك (م) بالطريقة التي سبق وان

شرحناها وهو اكثر بالكمية ق × ن × البعد ص، وهذه الزيادة هي التي تكسب الجسم كمية حركة زاوية حول (م) وهو دفع غير متمركز ادى الى اكتساب كمية حركة زاوية ذاتية (محلية) حول مركز الكتلة للجسم الممتد نفسه.



الشكل (٢٠)

من هذا يتضح ان الجسم المتماسك (الممتد) يختلف عن الجسيم المادي بأنه قادر على الدوران حول المحور المار بمركز ثقله.

وعليه فان له كمية حركة زاوية حول هذا المحور.

وكمية حركته الزاوية حول محور ماراً بنقطة (عَ) ليس الكمية m.v.l ولكن مجموع أو فرق كميتين هما:

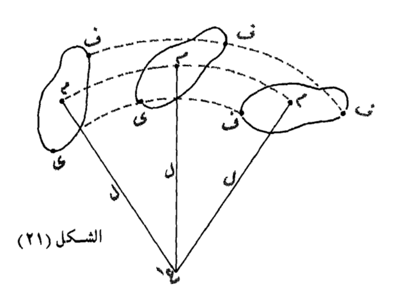
١ ــ كمية الحركة الزاوية نتيجة حركة (م) مركز الكتلة.

٢ ــ كمية الحركة الزاوية نظراً لدوران الجسم حول المحور المار بمركز ثقله (م).

حالة جسم متماسك يدور حول محور متصلاً به : The case of a rigid body rolating about an axis rigidly connected to it

سنقوم الان باختيار حالة خاصة في شكل (٢٠) وهي الحالة التي فيها محور الدوران خلال النقطة (عَ) جزءاً من الجسم المتماسك .

وعليه وهو المحور الذي سنقيد حركة الجسم الدورانية حوله وهذا الوضع يختلف عن ذلك الذي ارغمت فيه (م) على ان تتحرك في ممر دائري حول (عَ) وعليه فان (م) تدور بسرعة دورانية حول (عَ) التي هي نفس السرعة لكل الجسم حول (عَ) ويمكن اعتبار هذه الحركة الاخيرة على انها دوران حول محور مار بالنقطة (م) بينما(م)تتحرك بنفس المعدل الزاوي حول محور مواز ماراً بالنقطة (عَ) شكل (٢١)



الشــكل (٢١)

اختيار تعبير (اصطلاح) لكمية الحركة الزاوية :

ان التصور الاساسي لعزم القصور الذاتي (I) يساعدنا على ان نعبر عن كمية الحركة الزاوية لجسم حول محور مثبت به كما يلي :

W I J

كمية الحركة الزاوية = عزم القصور الذاتي×السرعة الدورانية

لو كان المحور ماراً خلال النقطة (عَ) كما في مثالنا الحالي فانه من المقنع كتابة (I) على أنها (TO) لو مرت خلال مركز كتلة الجسم لذلك فان هذه القيمة النوعية لعزم القصور الذاتي (I) يشار اليها بالرمز IG (م) اي عزم القصور الذاتي حول مركز الثقل . وكمية الحركة الزاوية الذاتية(المحلية) للجسم يرمز لها بالآتي أي عزم القصور الذاتي حول مركز الثقل × السرعة الدورانية .I G.W

وفي شكل (٢٠) فانه من الملائم ان نعبر عن كمية الحركة الزاوية حول محور بعيد عن الجسم وذلك نتيجة لحركة (م) حول المحور (عَ) على انها (ك ع ل) ولكن تحت الشروط الخاصة التي سنعتبرها الان أن (م) تتحرك في دائرة نصف قطرها (ل) بدلاً من ان تتحرك على خط مستقيم فان الصيغة mL^2w تكون اكثر معنى للتعبير .

اي الكتلة × السرعة الزاوية × مربع نصف القطر .

حيث كل٢ mL^2 هو عزم القصور الذاتي حيث أن (م) مركز الثقل عوملت على أنها جسيم مادي بينهما(W)هي السرعة الزاوية للجسم حول (عَ). عليه فانه يمكن كتابة كمية الحركة الزاوية على أنها

١) كمية الحركة الزاوية = (عزم القصور الذاتي حول مركز الثقل × السرعة الزاوية) + الكتلة × مربع نصف القطر × السرعة الزاوية .

$1(\ J. = IG . W + ml^2 . W)$

٢) السرعة الزاوية=(عزم القصور الذاتي حول مركز الثقل + الكتلة× مربع نصف القطر)

$2(\ = W\ (IG + mL^2)$

هذا التغيير يرينا ان عزم القصور الذاتي لجسم حول محور مثبت به اكبر من قيمته حول محور مواز له ومارا ً بالنقطة (م) مركز ثقله بالقيمة ك ل٢ mL^2 وهذه الحالة تعرف على أنها **نظرية المحاور المتوازية .**

في مجال حركة الإنسان هذه النتيجة نراها بالمقارنة بحركة البندول مثل مرجحة جسم ممتد من قضيب عال ــ الدوران الذي تكون فيه (م) (مركز الكتلة) بعيداً من القضيب ما امكن والتي عندها تصل مسافة (ل) الى ٣ ١/٢ قدم وعندما يبذل المجهود اللازم لوضع مركز الكتلة (م) في أسفل نقطة للمرجحة والمنطقة على القضيب فان دوراناً سريعاً وأكثر سوف يظهر للجسم الان .

والحفاظ على حالة الانتصاب على ارض خشنة يتم بواسطة دوران الجسم من هذا الوضع يحدث حول الاقدام مرة اخرى على بعد حوالي ٣ ١/٢ قدم من مركز الثقل .

لو كانت على ارض ملساء فان الاقدام لا يمكن ان تستمر طويلاً كمحور ثابت وبالتالي فان دوراناً يحدث حول (م) وبالتالي نصل لوضع الانحناء بسرعة .

وعليه يجب أن نتذكر ان قياس نشاط القسم يدور حول محور عرضي خلال مركز الكتلة او محور مواز وله عزم قصور ذاتي حول هذه المحاور ، فـــان التغيير في الوضع يجعل كتلة الجسم اقرب الى هـــذه المحاور ويقلل مـــن قيمة عزم القصور الذاتي ولذلك فان سرعة الدوران تزداد واكثر من ذلك عزم القصور الذاتي للجسم حول المحاور الأخرى لها قيم تتغير كثيراً مع هذا الوضع .

نصف قطر الدوران : Radius of gyration

لقد قابلنا بعض التسهيلات المصطنعة كالتصور بأن مركز الكتلة يتعلق

بالحركة الخطية ، وتقليل توزيع الكتلة لجسم ممتد لذلك الجسيم وسوف نتعجب لو أن جهازاً مشابهاً يمكن أن يساعدنا على الحركة الدورانية عن طريق استبدال التوزيع المعقد للكتلة للأجسام التي ستتعامل معها عن طريق أشكال هندسية لها نفس الخواص الدورانية .

والشكل الهندسي البسيط سيكون ذلك الجسم الذي له نفس الكتلة ونفس مركز الكتلة أيضاً الذي سوف يستبدل به وله نفس عزم القصور الذاتي حول أي محور ماراً بالنقطة م (مركز الكتلة) .

هناك أجهزة عديدة يمكن اقتراحها ومن وجهة نظرنا فان استبدال الكتلة الموزعة للجسم يتم بواسطة حلقة دائرية رقيقة بالكتلة تساوي كتلة الجسم ومتمركزة مع مركز الكتلة (م) ذلك يكون أكثر اقناعاً، وهذه الحلقة الخيالية لها نصف قطر يعطيها نفس عزم القصور الذاتي كالذي يمتلكه الجسم حول المحور الخاص المار بالنقطة(م) أي مركز الكتلة وعمودياً على مستوى الشكل ويسمى نصف قطر هذه الحلقة « بنصف قطر الدوران » للجسم حول المحور المتعلق بدراستنا هذه وغالباً ما يعطى الرمز k .

المحاور الاساسية للدوران : Principal axes of rotation

قبل أن نتقدم كثيراً فانه من الضروري أن نعير انتباهنا للظاهرة التي تقلل من عدد المحاور التي ستحدد نصف قطر الدوران . ولقد اهتم علماء الحركة بتحديد ثلاثة مستويات فراغية تحدث فيها الحركة وتتعامد هذه المستويات كل منها على الآخر . لو أن جسماً متماسكاً ترك ليدور حول مركز كتلة عليا فان ثلاثة محاور فقط يمكن أن تتوفر والتي يمكن أن يدور حولها الجسم بدون أن نرغم المحور على أن يأخذ مواضع مختلفة وكما سبق ان اشرنا فان هذه المحاور متعامدة وتتقاطع في النقطة (م) أي مركز الكتلة .

وعلى سبيل المثال لو أحضرنا قالباً خشبياً مستطيل الشكل ووضعنا بعناية مسماراً رقيقاً في كل وجه من أوجه القارب الستة (في مركز كل وجه) على أن تترك بوصة أو بوصتين بارزة في كل وجه فسوف نلاحظ أن الازواج الثلاثة للمحاور التي تكونت هي المحاور خلال(م) مركز الكتلة والتي يستطيع أو يمكن للقالب أن يرتكز ويتحرك حركة مغزلية بدون تمايل أو ترنح حول أي محور من هذه المحاور المارة بالنقطة (م).

والمحاور الثلاثة التي يمكن أن يدور حولها والتي تعرف بالمحاور الاساسية أو مستويات الحركة والتي تظهر بوضوح في الجسم البشري من خلال الشكل رقم (٢٢)

١ ــ المحور الطولي أ ب

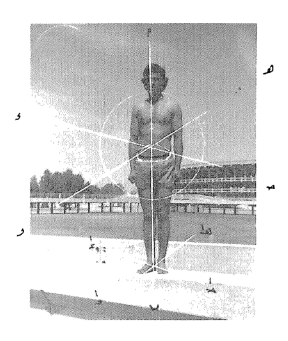
٢ ــ المحور العرضي جـ د

٣ ــ المحور الجانبي هـ و

وحلقات الدوران المرافقة لهذه المحاور موضحة بانصاف اقطارها التقريبية والتي تقريباً هي نفسها المحاور هـ و، جـ د والتي حولها عزم القصور الذاتي للجسم المنتصب وسيكون موضع الاعتبار وسوف يكون صغيراً أيضاً بالنسبة للمحور(أ ب)الذي حوله(م) (عزم القصور الذاتي حول(م)له قيمة صغيرة جداً والمحاور الاساسية توجد ايضاً لجميع النقط الاخرى في الجسم، تلك التي خلال الاقدام موازية للمحاور خلال(م) موضحة في شكل (٢٢) الجسم سيدور حول هذه المحاور بدون التواء ولكنه بالطبع سيولد شداً جانبياً على أي محور لا يمر مباشرة بالنقطة (م) أي بمركز الثقل.

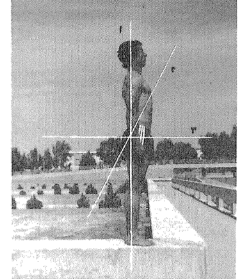
خ م خواص المحاور الاساسية: Properties of principal axes'

سوف ندرك انه لو ان جسماً متماسكاً ترك ليدور بحرية حول احد المحاور الاساسية في الهواء فان هذا المحور سيكون ماراً بالنقطة (م) اي



محصلة الاستواء الرأسي او الطولي

محصلة الخطوة الامامية او العرضية



المحور الافقى

١ - محصلة الاستواء الرأسي او الطولي
٢ - محصلة الخطوة الامامية او العرضية
٣ - المحور الافقى

الشكل (٢٢)

شكل محاور الدوران في الجسم

بمركز الكتلة وكل اجزاء الجسم ستتحرك في دوائر في مستوى عمودي على مستوى الجسم ، وعليه فان كمية الحركة الزاوية المحلية تتركب في هذا الدوران .

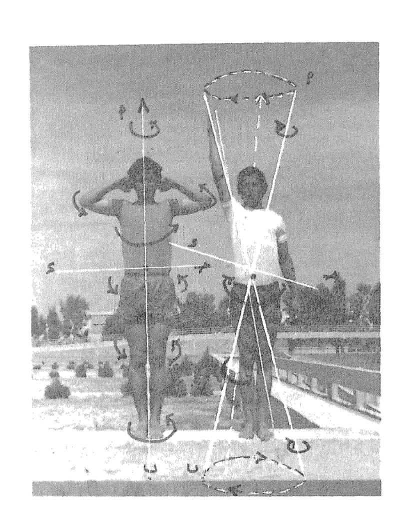
هذا يعني ان كمية الحركة الزاوية هي متجه لها نفس اتجاه المحور الاساسي ويمكن ان تمثل بواسطة خط مرسوم على طول هذا المحور . وأي خط يمثلها يعرف على أنه محور كمية الحركة ،وفي حالة جسم يدور بحرية بدون التواء فان محور كمية الحركة يطبق على احد المحاور الاساسية في الجسم .

لقد اشرنا انه في غياب أي عامل معوق فانه لا يوجد اي تغيير في قيمة واتجاه كمية الحركة الزاوية للجسم ، وعليه فان محور كمية الحركة في السقوط الحر يبقى كما هو او يحفظ مهما كان اتجاه السقطة في حالة الهبوط ولا يهم اي تغير وضعي يمكن ان يطرأ على الجسم الغير متماسك (الجسم البشري) .

وعلى اية حال تغير الوضع او الشكل يمكن ان يعمل على اعطاء تعامل جيد في اختلاف المحاور الاساسية للجسم .

اما في السقطة الحرة اولاً عليه فانها تنهي التطابق الذي يحدث بين احد هذه المحاور ومحور كمية الحركة وعندما يحدث فان المحور الاساسي الذي حدث حوله الدوران سوف لا يعاد توجيهه فقط ولكنه سوف لا يبقى في اتجاه ثابت في الفضاء ، ودورانه يعمل سطحاً مخروطياً حول محور عزم كمية الحركة شكل (٢٣) . ويوضح الشكل السابق التغيير في خواص حركة دورانية بسيطة (في هذه الحالة حركة هوائية) عندما تتغير الحالة يزيح المحور الرئيسي الذي يحدث حوله الدوران .

وفي شكل (٢٣ أ) الفاعل يدور بحرية (بطلاقة) حول محوره (أ ب) في الاتجاه الموضح بالأسهم وهذا المحور الرئيسي المار بالنقطة (م) بمركز



الشكل (٢٣)

الكتلة هو ايضاً محور عزم كمية الحركة واتجاه متجه كمية الحركة يكون ممثلاً بالسهم العلوي (ج د) هو المحور العرضي .

وفي شكل (٢٣ ب) فان تغير وضع الذراعين في اتجاه المحور (أ ب) في الفراغ لم يعد منطقياً على محور عزم كمية الحركة والذي لم يتغير بالطبع .

الجسم الآن مستمر في دورانه حول المحور المائل (أ ب) ولكن (أ ب) نفسه يبدأ في التدوير او الابرام في هيئة مخروطية حول محور عزم كمية الحركة راسماً سطحاً مخروطياً كما هو موضح بالرسم . هذه الحركة للمحور الاساسي تعرف Nutation وهي الظاهرة التي تحدث نتيجة النقص الحادث في التطابق بين المحاور وليس لاي دفع خارجي والذي قد يعمل على تغيير اتجاه محور عزم كمية الحركة . ومثل هذا الدفع يعمل على زيادة سبق هذا المحور .

ملاحظة : كثير من الهيئات لا تفرق بين Nutation والسبق وغالباً ما تستخدم هذه المصطلحات لتعبر عن اي حركة تأرجحية والتي يمكن ان تحدث .

وان اي تغير في الحالة التي ترجع المحور (أ ب) لينطبق على محور عزم كمية الحركة « غالباً عكس تلك التي تسبب الازاحة له » سوف تزيل الخواص الالتوائية للحركة وتعمل على دورانه للخلف في حركة بسيطة .

مهما كانت الحركة الالتوائية او غير ذلك فان كمية الحركة الزاوية المحلية للجسم تكون مرافقة كلياً على محور كمية الحركة وليس له اي مركبة في المستوى العمودي على هذا المحور (وهذا المستوى هو الافقي في الشكل السابق) .

والذي يمكن تسميته مستوى كمية الحركة الصغرى zero momentum plane

المحاور الثابتة وغير الثابتة : Stable and unstable axes

في المجال العملي فإنه من المستحيل ادارة جسم – متماسك او غيره – تماماً حول احد محاوره الاساسية . لو عدنا قليلاً الى تجربة القالب المستطيل السابق الذكر او على نموذج لجسم انسان منتصب (شكل ٢٢) عن طريق قذفه في الهواء بدوران سريع حول المحاور (هـ و ، أ ب ، جـ د) على التوالي عليه فـــان المحاور (هـ و ،أ ب) ، تلك المصحوبــة بعزم القصور الذاتي الادنى والاقصى على التوالي .. سوف تعمل على ضبط اتجاه ثابت تقريباً في الهواء متصرفاً بالطريقة السابق ذكرها حول محور عزم كمية الحركة ولكن يبقى قريباً منه وبالتالي فان المحور العرضي (جـ د) سوف لا يرينـــا اي ثنية او اتجاه ولكنه سوف يتأرجح وبسرعة الى الخلف والامام بتوقيت حركي عاكساً اتجاهه كلما حدث الدوران وهذه الحركـــة ستكون مصاحبة بتغيير مشابه في الاتجاه للمحاور الاخرى . فقط لو ان تطابقاً قد حدث بالفعل فمحور عزم كمية الحركة تحقق وسيبقى هذا المحور في اتجاه ثابت وهذا يمكن ان يحدث فقط في المجال العلمي عن طريق تزويد كراسياً ثابتة bearings التي خلالها (جـ د)(يمكن ان يدور كمحور العجلة) جسم الانسان المنتصب أو الممتد عليه بعزم القصور الذاتي حول (هـ و، جـ د) تكون متساوية تقريباً كما لو كانت اسطوانة طويلة والتي بها أي محور عرضي هو محور أساسي.

وعلى أي حال في حالة القطبة أو الثنية أو التي تتبنى توضيح حاجـــز عزم القصور الذاتي للجسم حول جميع المحاور خلال (م) والتي تكون جميعها تقريباً متساوية بل وأنه من الصعب أن تميز أي محور أساسي خاص أي إنحراف صغير لأي محور أساسي خلال مرور الجسم في الهواء يمكن أن يصحح دائماً عن طريق التغير الملائم في الشكل أو الحالة .

فكرة مبسطة عن الطاولة الدائرة :

كثير من الظواهر التي ناقشناها فيما سبق يمكن أن نوضحها عن طريق عمل تجارب بالطاولة الدائرة .

وهذه الطاولة عبارة عن منصة مستديرة أحيـاناً تكون مزودة بفـرو خفيف وعلى أية حالة مهما كانت أنواع الأجهزة المستخدمة في هذه الطاولة فان كل شيء سيبقى حراً ليدور حول محور رأسي وهو محور العجلة المثبت الذي تنزلق عليه الطاولة الدائرة بدون احتكاك تقريباً .

وفي حالة إجراء أي تجارب فإن القائم بعمل التجربة والأجهزة التي معه وأيضاً الطاولة الدائرة « تكون معاً نظاماً متصلاً » ويتأثر هذا النظام بأي دفع دوراني خارجي حول الإتجاه الرأسي فقط بالإضافة إلى القدرة على كشف أي تأثيرات داخلية مساوية له تحدث في هذا الإتجاه .

والمنصة لها عزم قصور ذاتي قصير جداً نسبياً حول هذا المحور ويكون من السهل ضبطه بحيث يكون رأسياً .

وإنه من الملائم أحياناً أن تكون هناك كمية بسيطة من الإحتكاك ضد حركة النظام السابق شرحه وفي الغالب أن هذا النظام يكون معزولاً إذا اعتبرنا أن الدوران يتم حول المحور الرأسي .

التجربة الأولى :

تأثير إعادة توزيع الكتلة : The effect of a red-distribution of mass

يقف الشخص المجرب أو يجلس ممسكاً دامبلز في يديه وذلك في مركز الطاولة الدوارة مع مراعاة أن يمد المجرب ذراعيه جانباً وفي هذه الأثناء تدور الطاولة ببطء وتبقى بالتالي كمية حركتها الزاوية ثابتة . يقوم المجرب بتقريب الجسيم بسرعة الدامبلز إلى صدره أو بالقرب منه (تقترب من محور الدوران) وبالتالي ونتيجة لهذا الوضع الجديد سوف تحدث زيادة سريعة ومتساوية في السرعة الزاوية .

لو أعاد المجرب ذراعيه إلى الوضع الأول أي إلى البعد الأقصى فإن السرعة الزاوية سوف تقل مرة أخرى إلى قيمتها السابقة .

ولتفسير ما حدث هو أن عزم القصور الذاتي للنظام يقل نتيجة التركيز الأكبر لكتلته بالقرب من المحور وبهذا فإن هذا التغير الداخلي لا يؤثر على عزم كمية الحركة الزاوية وتحدث زيادة في السرعة الزاوية ويعود النظام إلى معدله السابق من الدوران عندما يعاد توزيع الكتلة إلى ما كانت عليه سابقاً .

وعليه فلو أن المنصة نفسها لها عزم قصور ذاتي كبير فإن المجرب سيلاحظ أن أحد أكتافه يبدو ظاهرياً كما لو كان مشدوداً إلى الأمام والآخر إلى الخلف كلما تقدم الحدث وهذا يقودنا إلى إدراك عميق في طريقة التركيبة ونلاحظ ما يلي :

١ ـ إنتقال معظم كمية الحركة الزاوية لمعظم العناصر البعيدة عن تلك القريبة من المحور .

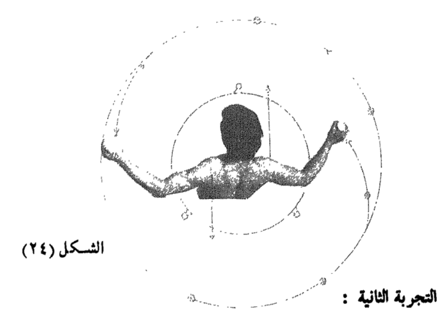
٢ ـ القوى في الأكتاف غير متمركزة كلما بعد مركز الكتلة (م) مع الأخذ بالمحور الرأسي في عين الإعتبار وبطريقة تعمل على زيادة سرعة الدوران لكل الجسم .

٣ ـ الطاولة الدائرة تكون دفعاً زاوياً والذي يعمل على زيادة كمية الحركة الزاوية لهذا الجزء من المجموعة .

٤ ـ بينما رد الفعل المزود إلى الكتل البعيدة عبر الأذرع يقلل من كمية الحركة الزاوية لهذ المركبات بقيمة مساوية .

وهذه التجربة تزودنا بمثال عن المبادلة في كمية الحركة الزاوية وبهذا فإن الجسمين البعيدين بابعاد صغيرة وهي تتصرف كجسيمات مصمتة ليس لها كمية حركة زاوية ذاتية إلا تلك التي حول المحور وبالتالي فهي قادرة على المبادلة مع بقية المجموعة عندما تكون قريبة جداً من هذا المحور أنظر شكل رقم (٢٤) ونستطيع أن نوضح هذه التجربة أكثر في هذا المثال ففي حالة الدورة الهوائية الأمامية يدفع اللاعب الأرض وجسمه مفرود وبذلك يكون عزم القصور الذاتي أكبر ما يمكن وبما أن الدفع مائل وغير مار بمركز الثقل (مركز ثقل جسمه) فسوف تحدث حركة دائرية ذات سرعة زاوية كبيرة .

وعندما يصل إلى وضع التكور فيقل عزم القصور الذاتي بدرجة كبيرة مما ينتج عنه، زيادة السرعة الزاوية بدرجة كبيرة أيضاً وسوف يتمكن من عمل أكثر من دورة ذلك لأن تقليل عزم القصور الذاتي يتبعه زيادة في السرعة الزاوية .



الشكل (٢٤)

التجربة الثانية :

تبادل كمية الحركة الزاوية بين الأجسام الممتدة :

Exchange of angular momentum between extnded bodies

تجري هذه التجربة على الطاولة الدائرة أيضاً ونستخدم فيها جهازاً قادراً على إعطاء كمية حركة زاوية ذاتية (محلية) ونعتقد أن عجلة الدراجة والتي تكون مثبتة عن طريق بدال مع ملاحظة أن نصف قطر الدوران لهذه العجلة حول محورها هو تقريباً نصف قطر الحافة نفسها . وهذه تشترك مع كتلتها الأساسية لتكون عزم قصور ذاتي كبير . ولذلك فان أي معدل دوراني حول محور العجلة يكون متبوعاً بكمية حركة زاوية محلية كبيرة جداً .

أولاً — من المستحسن أن نعرف أن هذا النوع من كمية الحركة الزاوية لا يمكن أن ينتقل من العجلة الدوارة إلى بقية المجموعة إنما فقط يحدث ذلك عندما يقترب محورها الرأسي من المحور الرأسي للطاولة الدائرة . لهذا السبب تبقى العجلة تدور وممسوكة بواسطة « المجرب » ومحورها في الإتجاه الرأسي عندما تكون جالساً على الطاولة الدائرة .

وكمية الحركة الزاوية التي تمتلكها المجموعة هي تلك المحلية المعطاة إلى العجلة ولا زالت محصورة عليها فقط .

والآن سنجد أنه لا توجد أي مشكلة أينما كان المحور الرأسي للعجلة « قريباً من المحور المركزي للطاولة الدائرة أو بعيداً عنه » طالما أن هذا المحور مازال رأسياً فهو غير قادر على تحريك بقية المجموعة. وهي لا تشبه الأوزان الصغيرة في التجربة الأولى لأن العجلة ليس لها كمية حركة زاوية للحالة البعيدة « أي أنه لا توجد كمية حركة لمركز الثقل (م) حول المحور المركزي »وهذه الحالة الوحيدة فقط التي يمكن أن تنقل بهذه الطريقة .

وللتأثير على انتقال كمية الحركة الزاوية فان المجرب يمكن أن يُدخل ازدواج توقيف عن طريق مقاومة الحركة الدورانية بواسطة يده والعجلة . هذا سوف يرى أنه نظم نفسه وكل شيء آخر بما في ذلك العجلة الممسك بها فيدور حول المحور المركزي للطاولة الدائرة بنفس الطريقة التي تدور بها العجلة . وبهذا تكون كمية الحركة الزاوية الذاتية للعجلة قد شاركت مع بقية المجموعة .

والآن من السهل نقل جميع كمية الحركة الزاوية للمجموعة مرة أخرى إلى العجلة ، لأن العجلة ستبقى تدور بنفس الكيفية حول محورها عن طريق دفع دوراني يعطي لها من المجرب من أجل أن يرجع كل شيء ساكناً مرة أخرى . وفي غياب تأثير الإحتكاك فان العجلة ستدور سريعاً كما كانت عليه في السابق وتسترد كل كمية حركتها الزاوية بدون فقدان .

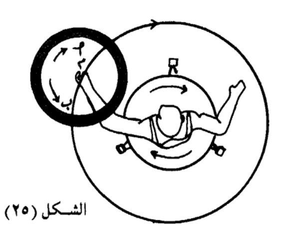
كما في التجربة رقم(١) فإنه من المستحسن أن نختبر الوضع كذلك ومع أن المجموعة الثانية لا تتأثر بتغير وضع العجلة الدوارة « لأن هذه ليست لها كمية حركة بعيدة تتصل بها » وعندما يدور كل شيء حول المحور المركزي فان العجلة لها كمية حركة زاوية من نوعين :

١ ــ كمية حركة محلية نتيجة لدورانها حول محورها .

٢ ــ كمية حركة زاوية بعيدة وذلك نتيجة لأن مركز كتلتها بعيداً عن المحور المركزي كما يتحرك حوله .

وهذه الحالة الأخيرة كما في تجربة رقم (١) يمكن أن تتصل مع بقية المجموعة عندما يقترب مركز كتلة العجلة من المحور المركزي (الطاولة الدائرية) بغض النظر إذا ماكانت العجلة تدور أم لا لأنها ستعمل عمل الأوزان الصغيرة في التجربة رقم (١) .

ويوضح شكل رقم (٢٥) هذه التجربة .



الشــكل (٢٥)

التجربة الثالثة :

الدوران بدون كمية حركة زاوية :

Rotation with zero angular momentum

هذه التجربة أدخل عليها تحسين بسيط بالنسبة للتجربة الثانية ولكن لها قيمة كبيرة جداً في الحركات الرياضية الفيزيائية . هنا العجلة تدور حول محورها الرأسي ليس بتأثير خارجي كما في التجربة السابقة ولكن بواسطــة

« المجرب نفسه » بينما يمسك المجرب العجلة على هذا الوضع من الطاولة الدائرية الثابتة ، ولفترة زمنية بسيطة جداً فإن المجموعة تستقبل أو تتأثر بأي دفع دوراني خارجي وكذا لفترة زمنية فان المجموعة تمتلك كمية حركة زاوية وبالتالي فان العجلة تدور عن طريق دفع داخلي يزود لها وهذا يسبب رد فعل مساوٍ ومضاد مما يؤدي إلى إعادة كل النظام بما فيه مركز الكتلة للعجلة الذي سوف يتحرك إلى المحور المركزي في اتجاه معاكس .

وبهذا يجد المجرب نفسه حاملاً العجلة هو والطاولة الدائرية وسوف يدورون معاً وبهذا فان المجموعة كلها أي (الطاولة — المجرب — العجلة) قد تغير وضعها بالنسبة للأشياء الخارجية الثابتة بدون أن تمتلك كمية حركة زاوية أي بدون إرغام على عمل ذلك وبواسطة أي شيء خارجي ما عدا تأثير الاحتكاك وهذا الحدث الذي أوقف العجلة سوف يوقف كل شيء ويرجعه إلى سكون لحظي . والأمثلة كثيرة في المجال الرياضي لهذه التجربة . فهذا الأساس يطبق في كثير من الحركات الرياضية ففي الجري السريع أو العدو تتحرك الذراع اليمنى مع الرجل اليسرى في نفس الوقت ولذلك تحدث حركة دورانية عكسية في كل من الكتف والحوض على المحور الطولي للجسم ولقد بني هذا الأساس على قانون نيوتن الثالث الذي سبق ذكره وهو أن لكل فعل رد فعل مساو له في المقدار ومضاد في الإتجاه ويمكن للمرء أن يمثل التأثير المتبادل للحركة بين الجزء العلوي والسفلي للجسم عن طريق الطاولة الدائرية وتستطيع أن تلاحظ أن كل حركة لأجزاء هذا اللاعب الواقف فوق هذه الطاولة سيقابلها حركة عكسية للطاولة نفسها فلو حرك اللاعب ذراعيه جهة اليسار فلسوف تدور الطاولة في الجهة العكسية وبالطبع سوف تكون حركة القدمين في نفس الوقت في اتجاه حركة الطاولة وبالتالي سوف نلاحظ أن حركة الرجلين أيضاً عكس حركة الذراعين .

التجربة الرابعة :

الصفات الرأسية لكمية الحركة الزاوية : The vectorial character of angular momentum

من المعروف أن تحديد اتجاه الموجة مثل كمية الحركة الزاوية لجسم يدور حول محور تحدد بواسطة الإتجاه على طول المحور حيث نشاهد حركة الجسم الدورانية في اتجاه عقارب الساعة تمس فقط لتغيير كمية الحركة الزاوية في الاتجاه الرأسي وعليه فإنها سوف ترسم فقط المركبة الرأسية لهذا المتجه .

الآن أصبح من الواضح أن عجلة تدور حول أي محور أفقي ليس لها كمية حركة زاوية في الإتجاه الرأسي وعليه إذا كان المجرب جالساً على طاولة ثابتة تاركاً العجلة تدور فان الطاولة الدوارة ستبقى في حالة سكون . وإذا أرغم محور الطاولة لكي يلف إلى أعلى فإنه يمنح كمية حركة زاوية رأسية للعجلة عن طريق هذا الفعل الداخلي الصرف وبهذا تكتسب مـــع بقية المجموعة كمية حركة زاوية مساوية في الإتجاه العكسي مرجعه محور دوران العجلة إلى أي اتجاه أفقي بأي طريقة كانت في غياب تأثير الاحتكاك سوف يقف كل شيء ماعدا العجلة الدائرية .

ولو افترضنا أصلاً أن العجلة تدور حول محور رأسي وممسوكة بواسطة المجرب وهو في وضع السكون على الطاولة الدوارة الثابتة – كما في التجربة الثانية – عن طريق لف محور العجلة حول أي محور أفقي سوف يعزل كل كمية الحركة الزاوية الذاتية للعجلة في الإتجاه الرأسي .

ولكن كما في التجربة السابقة هذا الفعل الداخلي ليس له تأثير على كمية الحركة التي يمتلكها الجسم ككل وعليه فان كل شيء يبقى ويدور حول المحور المركزي في نفس الإتجاه الذي كانت تدور فيه العجلة والتأثير سوف يكون مزدوج لو أن العجلة بدلاً من إعطائها اللفة المحدودة المذكورة أعلاه أرغمت على أن تدور أعلى وأسفل عندما تكون كمية الحركة الزاوية

الأصلية في الاتجـــاه الرأسي سوف لا تقل مباشرة إلى الصفر ولكن سوف تعكس الاتجاه بقوة .

ومهما كانت المبادلة في كمية الحركة الزاوية هناك حول المحاور الأفقية على هذه التجارب فتتبادل مع الأرض التي عليها الطاولة الدائرية في تلامس استاتيكي .

التجربة الخامسة :

التأثير الدوراني ورد الفعل حول المحور الطولي للجسم :

Rotary action and recation about the body's longitudinal axis

لا توجد هناك طريقة خاصة والتي بواسطتهـــا يمكن أن ننفـــذ هـــذا الإستقصاء حيث أن بعض أشكاله تكون سهلة للوصول إليها بدون الطاولة الدائرية .

يقف المجرب متمركزاً على المنصة وقدميه متباعدتين قليلاً لحفظ الجسم منتصباً ومتماسكاً مع وضع ذراعيه جانباً . يقوم المجرب بمرجحة ذراعيه حول المحور الأفقي في دوائر كبيرة لعمل أكبر زاوية ممكنة وتدور الطاولة وجسم المجرب في الاتجاه المعاكس .

ومن الواضح أن الدفع الزاوي الذي اكتسبته الأذرع نتيجة لحركتها حول المحور المركزي طوال الوقت الذي تتحرك فيه يقاوم بالطريقة المعتادة على بقية الجسم والطاولة الدائرية لتعطي هذه المركبات كمية حركة زاوية مساوية لتلك المكتسبة بواسطة حركة الأذرع ولكن في عكس اتجاه حركتها .

ومن الواضح أن إثبات هذه التجربة مشابهاً لتجربة رقم (٣) ولكنــه يختلف عنه في أن العجلة يمكنها القيام بعدة دورات قبل أن تقف ويمكن أن تحفظ التجربة أيضاً لثواني معدودة حيث أن المدى المحدود لحركة الأذرع هنا وبقية مركباته سوف تصل إلى السكون لحظياً .

وسوف نلاحظ الآن لو أن الحركة السابقة أجريت بطريقة أخرى فمدى حركة الأذرع يمكن أن يحدد بواسطة دوران الكتفين المعاكس ، بالاضافة إلى أنه لو أردنا مدى كبير للحركة فنستطيع أن نحصل عليه عندما تتحرك الأكتاف والجزء العلوي من الجذع مع حركة الأذرع .

عندما يحدث ذلك فان الجذع العلوي سيدور في اتجاه موحد حول المحور الطولي للجسم . ويمكن أن تجري التجربة عن طريق تقسيم الجسم إلى ثلاثة أجزاء: الجزء العلوي ومنطقة الحوض في الإتجاه المعاكس بالإضافة إلى عمل الساقين وانثنائهما قليلاً لحفظ المنصة في حالة السكون .

والنقطة الجديرة بالملاحظة هي أن شكل الحركة لا يقرر بواسطة عزم القصور الذاتي النسبي المرافق لأجزاء الجسم ولكن عن طريق النشاط العضلي .

وعليه فان الإزاحة الزاوية التي من الممكن أن تدور بها هذه المركبات حول المحور الطولي تعتمد على عزم القصور الذاتي النسبي حول هـذا المحور .

حفظ كمية الحركة الزاوية : Conservation of Angular Momentum

نجد من تركيب جسم الإنسان أن الخواص الميكانيكية التي يتميز بها من حيث كونه سلسلة كينماتيكية لها أطراف متعددة يمكنها أن تتحرك بالنسبة لبعضها فهذا التركيب قد أعطانا الفرصة لنغير من شكل الجسم وبالتالي عزم القصور الذاتي له أثناء الحركة الدائرية .

والقوى المتبادلة التي تؤثر بين مركبات أجزاء الجسم أو في مجموعة من الأجسام سبق وأن رأينا أنه لا تأثير لها على كمية الحركة الخطية للمجموعة ككل . أي أنه على حركة مركز كتلته شكل (١٣) وهذا يسبب الدفعات

الخطية الفردية المعطاة في جزء وآخر تكون على توافق مع القانون الثالث للحركة .

والتجارب السابقة تفرض وبقوة وجود قانون لحفظ الطاقة (كمية الحركة الزاوية) إحداهما يرتكز على أن الدفع الزاوي المؤثر بين أجزاء الجسم أو بين أجزاء المجموعة واحد على الآخر ليس لها تأثير على كمية الحركة الزاوية للمجموعة ككل حول أي محور إذا كان هذا المحور متصلاً بالمجموعة أو خطاً وهمياً . ولذلك فالقوة المتبادلة عندما تؤثر بين الأجسام ليس فقط في الدفع الخطي المتساوي والمعاكس (فعل ورد فعل لفترة زمنية) ولكن خطوط تأثيرهما واحدة والإزدواجات التي تولدها في الإتجاهات المضادة حول أي محور تلغي بعضها . ولكن فقط الدفع الخارجي الدوراني يمكن أن يغير من كمية الحركة الزاوية لمجموعة معزولة من الأجسام حول محور معروف كمحور خارجي يمكن أن يدخل في التجارب السابق شرحها ولذلك فإن له مركبة حول المحور الرأسي ليتم ذلك .

ويجب على الإنسان أن يستغل قدرته على تغيير عزم قصوره الذاتي في معظم الحركات أثناء الدوران حتى يتمكن من زيادة شدة الحركة أو العكس، وكثيراً ما نلاحظ أثناء رياضة الإنزلاق زيادة السرعة الزاوية بشدة عندما يضم اللاعب ذراعيه إلى جسمه وذلك نحو محور دورانه وتهبط سرعته عندما يمد ذراعيه جانباً .

كما أن اللاعب أثناء أدائه لحركات الغطس يجب عليه أن يتحكم في السرعة الزاوية وذلك بتغير أوضاعه أثناء الغطس .

وإذا أردنا أن نوضح العلاقة بين عزم القصور الذاتي وبين السرعة الزاوية علينا أن نحلل حركتين من حركات الجمباز الأولى وهي دورة خلفية مكورة Back somersault والثانية دورة خلفية مستقيمة Back somersault

straight

وتم هاتان الحركتان بالدفع من الأرض فلا شك أن الدورة الخلفية المستقيمة أصعب بكثير من الدورة الخلفية المكورة لأن عزم القصور الذاتي في هذه الحركة يكون ثلاثة أضعاف مقدار عزم القصور الذاتي مع التكور وعليه تكون السرعة الزاوية تقريباً ثلث قيمتها في حالة التكور لذلك نلاحظ أن الدورة الخلفية المفرودة تتطلب سرعة زاوية كبيرة ليحصل اللاعب على مسافة طيران وارتفاع كبير وبمعنى آخر يجب أن يصل الدفع الدوراني والسرعة المحيطية لمركز ثقل الجسم إلى ثلاثة أضعافه في حالة الدورة الخلفية المكورة .

وفي الحركات الدائرية للانسان وأيضاً الحركات التي يغير فيها حركته يلعب قانون بقاء كمية الحركة الزاوية دوراً هاماً فالحركات حول محور ثابت كما هو الحال في العقلة فلو قام اللاعب باجراء حركة المرجحة البندولية فلسوف نلاحظ أنه عندما يكون مركز ثقل الجسم في أعلى نقطة له تكون السرعة المحيطة له مساوية صفر وبذلك تحتفظ بأكبر طاقة وضع ،ذلك لأن طاقة الوضع = وزن الجسم × الإرتفاع .

الفصـــل السابع

كميـة الحـركة الزاوية للانسان

أهمية الحركة الدورانية : The importance of rotary motion

لقد قمنا في الفصل السابق باجراء ومناقشة عدة تجارب والتي وضعنا لها علاقة عن طريق عدة تطبيقات على القانون الثالث للحركة الدورانية خاصة على الأجسام الغير متماسكة .

وترتبط هذه التطبيقات وتوافق تكوين الجسم البشري من النواحي التشريحية والفسيولوجية والميكانيكية . فالإنسان قادر على اتخاذ تغيرات ذات مدى واسع بالإضافة إلى أنه يمتلك قدرة كبيرة في التحكم في جسمه بينما يكون في الهواء ، ومن العوامل التي تساعد الإنسان على اتخاذ هذه الأوضاع عنصر المرونة، مرونة المفاصل المطاطية في العضلات الموجودة على المفاصل، وعنصر المرونة من عناصر اللياقة البدنية الهـــامة للانسان ونتيجة للمرونة والمطاطية فان الإنسان يمتلك :

١ ــ القدرة على تغير توزيع كتلته وبالتالي عزم قصوره الذاتي حول محور معروف .

٢ ــ القدرة على إعادة توزيع كمية حركته الزاوية ضمن أجزاء مركباتها.

وعلى سبيل المثال يمكن لبعض أعضاء جسم الإنسان أن تتحرك حول مركز الكتلة بسرعة زاوية دون أن يشارك الجذع على سبيل المثال في هذه الحركة ، هذه القدرات يمكن أن تقوم بدراستها بواسطة الطاولة الدائرية أو عن طريق استخدام الأفلام السينمائية البطيئة لحركة الإنسان نفسه وسوف نلاحظ الخاصية الفائقة في استمرار الحركة الدورانية لأعضاء الجسم ويرجع ذلك إلى حرية الجسم المطلقة . والذي يهمنا هنا هو نتائج التأثيرات المتبادلة بين أجزاء مركبات الجسم . بالرغم أن التأثيرات المستشهد بها عندما يكون

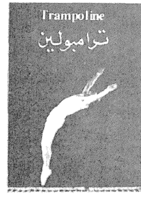
الجسم في هيئة دوران عندما تشمل فقط إزاحة خطية لجزء منها بالنسبة للباقي.

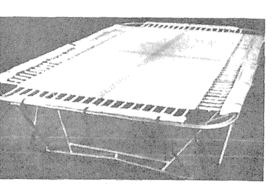
وعلى سبيل المثال التأثير على جسم الإنسان في السقطة الحرة ولنفرض أن هناك حركة محدودة للعضو تؤخذ إما في اتجاه نحو (م) مباشرة أو بعيداً عنها وهذا يسبب إزاحة فقط للجزء الباقي من الجسم لمسافة قصيرة جداً من الناحية الأخرى (م) بينما تبقى هذه النقطة بدون تأثير .

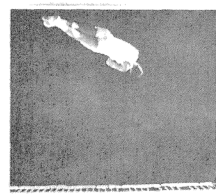
والإزاحة الخطية للجزء الرئيسي للجسم تكون محدودة بدقة ولذلك يمكن أن تستمر في الزيادة كلما امتد تأثير العضو المؤثر وعندما يقف تأثير هذا العضو فإن كل شيء يقف ، وأكثر من هذا ليس هناك أي احتمال لحفظ التناسب الأصلي للجسم بدون حذف الإزاحـــة الخطية في نفس الوقت . والوضع يختلف تماماً في حالة الإزاحة الدورانية . افترض على سبيل المثال « لاعب الترامبولين » وهو يقوم بأداء قفزة عالية بدون دوران وعندما يبدأ تأثير القفرة على الساعدين فان حركة دورانية لهذه الأعضاء حول المحور العرضي للجسم خلال النقطة (م) كما في التجربة رقم (٣) فالدفع الدوراني اللازم لبدء هذه الحركة سيبدأ من بقية أجزاء الجسم وعليه فان كمية الحركة الدورانية لدوران الساعدين في اتجاه ما سيكون مصحوباً بكمية حركة مساوية ومضادة في الإتجاه لبقية الجسم ، وبالتالي فإن دوراناً بطيئاً سيحدث أو سيطرأ على كل الجسم حول المحور العرضي في الإتجاه المعاكس، وهذا شيء سوف يستمر طالما استمرت الذراع في الحركة .

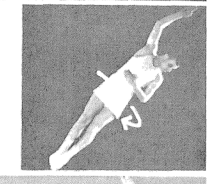
وبناءً على الإزاحة الخطية والتي سبق دراستها فان تأثير الذراع سوف يستمر لإزاحة الزاوية بلا حدود لعمل مسح أو لتغطية دورات تامة .

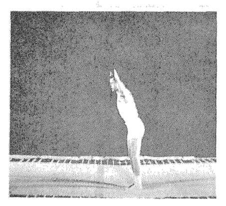
وعليه فان الشقلبة البطيئة للجسم حول هذا المحور سوف تستمر حتى تقف عن طريق دفع الأذرع . ولو أننا أعطينا الجسم فرصة للبقاء في الهواء فإن الجسم سوف يعمل عدداً من الشقلبات ، وبدون أن يمتلك الجسم كمية حركة زاوية حول (م) في أي فترة زمنية فان مجال الحركة ليس له مؤثر

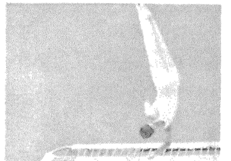






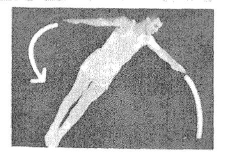








FULL TWISTING BACK SOMERSAULT



في الحالة الخطية (أي أنه بدون كمية حركة لا يمكن حدوث شقلبات في الحالة الخطية) .

ومن الملاحظ أنه بجانب عمل شقلبات في الهواء فإنه يمكن أيضاً التحكم في هذه الشقلبات .

ولزيادة السرعة الزاوية للاعب الترامبولين فإن هذا يتم إما عن طريق زيادة حركة الساعد أو الذراع أو عن طريق تكبير نصف قطـر الممر الدائري له . ويمكن للاعب الترامبولين أن يعمل ما يقوم به لاعب الغطس أحياناً ليقلل عزم قصوره الذاتي حول المحور العرضي وذلك عن طريق عمل التكور لحظياً بدلاً من وضع الإستقامة وهذه الزيادة في السرعة الزاوية نتيجة لهذا الوضع سرعان ما تقل إذا ما عاد اللاعب إلى وضع الإستقامة فتعود السرعة إلى قيمتها السابقة .

تطبيقات على استعادة التوازن : Application to recovery of balance

نستطيع الآن تقديم شروح متتابعة على عملية استعادة التوازن والتي سبق مناقشتها حيث أنها عولجت بطريقة الإستنتاج من قوة الاحتكاك الخلفيـــة الأفقية من الأرض – قوة لامركزية بعيدة عن مركز الثقل ولا يكون عملها فقط إرغام (م) للتراجع على الاقدام كما هو مقرر لها ولكن مصحوبـــة بعجلة دورانية لمعظم الجسم حولها كما في شكل (١٤) .

وهذه الطريقة للمناقشة يمكن أن تستبدل بتلك التي تختلف فيها معاملة كمية الحركة الزاوية المحلية حول المحور العرضي المار بالنقطة (م) عند الحافة البعيدة حول المحور العرضي المار بالاقدام في النقطة (o) والتي حولها الجسم الغير متوازي يرى ليدور حولها «١٤» . ويجب ملاحظة أن كل من رد فعل الأرض (ن) والاحتكاك (P) لا يدخلان المناقشة لأن خط عملها

يمر بالنقطة (o) وعليه فان عزمهما = صفر وأيضاً القوى حول (o) =صفر.

أما القوة الوحيدة القادرة على عمل ذلك هي محصلة وزن الجسم الذي يؤثر رأسياً إلى أسفل في النقطة (P) وهو المسؤول عن العجلة للجسم المتماسك من وضع الاتزان عندما يفقد التوازن ولذلك فهو القوة الوحيدة التي لها عزم ازدواج حول (o) تحت هذه الظروف .

شيء آخر يجب معرفته في الحركة البشرية هو ذلك الشيء الذي يظهر عندما نحول انتباهنا من الحركة الدورانية المنتظمة للاجسام المتماثلة كالعجلات والطاولات الدائرة وهي على جميع أشكالها أقل قدرة على الحركة من الأجزاء المفصلية للجسم .

ولذا فانه في التغير الموضعي الموضح في شكل (١٤) وأماكن أخرى فهي ليست مشابهة لأي أجزاء من الجسم ستتحرك في حركة دائرية بسيطة حول ( ) ولن تمتلك نفس السرعة الزاوية حولها ، ولا أيضاً النقطة (م) نفسها تتحرك على قوس دائري حول المحور العرضي الذي اخترناه ماراً بالنقطة (o) ومن المعروف أن كمية الحركة الزاوية حول أي نقطة أو محور تعتمد على قيمة المساحة المغطاة « الممسوحة » حول هذا المحور وليس على شكل المساحة الممسوحة .

والمناقشة الآن تعتمد على الأساسيات التي سبق وأن أوضحناها في التجربة الثالثة في الموضوع السابق أي تطور الحركة الدورانية حول محور بدون اكتساب كمية حركة دورانية .

والواقع العملي يختلف عن تلك التجربة حيث أن المحاور موضع الإعتبار (المحاور العرضية خلال (م) أو o) تكون أفقية بدلاً من رأسية وتلك المارة بالنقطة (o) بعيدة عن مركز الجسم الغير متماسك وفي الواقع فان حالة عدم التوازن في شكل (١٤) مرجعها أن الجسم ليس فقط في حالة عدم سكون ولكن وزنه يجعله تحت تأثير دفع دوراني مكتسباً زيادة في كمية

الحركة الزاوية حول(o) ،وهي كمية الحركة الزاوية التي ستنخفض إلى الصفر وتعكس بعد ذلك لتصبح (م) رأسياً فوق (o) كما في شكل (١٢ جـ) مروراً بشكل ١٢ ب) .

وبالإشارة الى شكل (١٢أ) نلاحظ ان الجسم يتحرك كما لو كان متماسكاً ويمتلك كمية حركة زاوية ذاتية حول محور بعيد في اتجاه عكس عقارب الساعة حول (o) ذاتياً بينما يدور الجسم ككل ، اي يغير هيئة حول (م) بعيداً لان (م) نفسها تدور حول (o) .

ولتدعيم هذا المبدأ المشترك سنهمل لحظياً عزم الازدواج الذي يولده وزن الجسم حول (o) وعليه نرى ان الجسم يدور للأمام بمعدل ثابت اي بدون ان يولد كمية حركة زاوية عند انقلابه ، ولإيقاف هذه الحركة وارجاع (م) مركز الكتلة الى السكون ما على الجسم الا ان يرتكز على الفخذ . ولذلك فان معظم الأجزاء سوف تدور بسرعة اكبر حول (م) كما في شكل (١٤ ب) .

والملاحظ في هذه الحالة ان عملاً داخلياً يستطيع ازالة كمية الحركة الزاوية للجسم حول المحور البعيد وبالتالي سوف تحدث زيادة مساوية في الحالة الذاتية تشبه الظاهرة التي اوضحناها في الطاولة الدائرية (الدوارة) .

وليس المطلوب ان تصبح (م) في وضع السكون وتزيد من كمية الحركة الزاوية لذلك يجب معرفة ان حركة (م) لن تقف فقط ولكن ستعكس اتجاهها ايضاً (اي ان م تسكن سكوناً لحظياً ثم تعكس اتجاهها) .

ويجب الا نغفل العزم الدوراني الذي يسببه وزن الجسم حول (o) فبدون هذا العزم سوف يحدث تغير في شكل منتظم وثابت حول (م) بتحديد جميع كمية الحركة الزاوية اللازمة في الصورة الذاتية (المحلية) ، ولكي نصل الى حالة الاسترجاع ولكن كما نلاحظ في شكل (١٤أ) فان

الوزن يكسب الجسم دفعاً دورانياً والذي يزداد مع الزمن .

ويتبع هذا ان الجسم يكتسب زيادة في كمية الحركة الزاوية في الاتجاه الغير مطلوب وبعض الشيء فقط والذي يمكن ان يحدد او يحفظ على هيئة كمية حركة زاوية لو ان الحركة الدورانية حول (م) هي حركة تسارعية وهذا هو الذي يعرقل عملية الاسترجاع .

وهذا التسارع ينتهي عندما يستمر الفخذ في الانثناء حتى يصبح خط تأثير الوزن على يمين النقطة (o) كما في شكل (١٤ ب) لتعمل على سكونها وبالتالي انعكاسها نحو وضع الاستقامة كما في (١٤ جـ) سوف تتحرك الى الامام مرة أخرى الى وضعه المطلوب فوق الاقدام ويجب ان نلاحظ ان تغير الحالة (الهيئة) يشتمل على جميع الجسم ولكن القدم المرتكزة تتعارض معه لان دورانها حول (م) في الاتجاه المعاكس .

الدراسة الميكانيكية لحركة خطوة للامام من السكون :

Mechanics of the step Forward from rest

قبل ان نقوم بالدراسة الميكانيكية لحركة الخطوة الامامية من السكون علينا ان نوضح ونحلل بطريقة مختصرة المشي .

يعتبر المشي وسيلة طبيعية يستخدمها الانسان والحيوان للانتقال من مكان لآخر . والمشي عملية فقد واسترجاع للاتزان الميكانيكي ، ويتم ذلك بتكوين قواعد ارتكاز جديدة عن طريق حركة الرجلين المتوالية .

فالجسم يتحرك للامام ولذلك يمكننا ان نعتبر المشي حركة مستقيمة تنتج من حركتين دائريتين لمفصلي الركبة والفخذ .

فعند نقل ثقل الجسم للامام عن طريق رفع قدم من على الارض تعمل القدم الأخرى كمحور ارتكاز والتي تسمى القدم الدافعة ويكون في هذه

الحالة مفصل الفخذ محور ارتكاز للقدم المتحركة للامام ونتيجة لهذا الوضع تعمل ساق القدم المتحركة كمقاومة لمحور الارتكاز .

ويحدث في المشي ان تتبادل الرجلان عملهما ما بين الارتكاز والمرجحة وعندما يحدث الارتكاز ينتج مقدار من القوة الدافعة والتي تعمل على حركة الجسم أماماً بينما الجزء الآخر من القوة يعمل على مقاومة الحركة الامامية للجسم وبما ان القدم تعد اول جزء يلمس الارض امام الجسم فسوف يحدث نتيجة لذلك مركبة قوة امامية عند دفع القدم للارض ونتيجة لهذا الوضع يحدث ضغط عكسي من الارض اي رد فعل الارض على القدم يعمل كضابط لكمية حركة الجسم الامامية وبمجرد انتقال مركز الثقل للامام على قدم الارتكاز تحدث هذه القوة العكسية المذكورة .

من هنا يحدث الدفع على الارض عن طريق بسط مفاصل الفخذ والركبة والقدم مما ينشأ عنها مركبة قوة خلفية لان قوة ضغط الارض العكسية تدفع الجسم للامام .

أما مركبة القوة العمودية فعملها يكون سند الجسم ضد شد الجاذبية والمشي كأي ظاهرة حركية يحدث فيها ضرورة التغلب على القصور الذاتي ويحدث ذلك عن طريق القوة الناتجة من القدم الدافعة وبمساعدة قوة شد الجاذبية التي يتضح اثرها عندما ينتقل وزن الجسم الى الامام .

والان نقوم بدراسة ميكانيكية لحركة خطوة للامام من السكون .

ان الحركة الامامية للساق تعني ان نلقي بالجسم عمداً لعدم التوازن في هذا الاتجاه (اي في الاتجاه الامامي) ومن النظرة الاولى نرى اننا لسنا بحاجة الى الاستقصاء والتحري لانه من الواضح انه قد حدث تغير في الشكل على هيئة تسارع في اتجاه عقارب الساعة اي انه معاكس لذلك الموضح في (شكل ١٤) وسوف يزودنا بكمية الحركة الزاوية اللازمة

حول (م) وتعمل الساق الحرة نتيجة لحركتها على ذلك كما في شكل (٢٦) ويجب الا نأخذ ذلك على انه حقيقة مسلم بها فيجب علينا ان نلاحظ انه حتّى عملية استّرجاع الاتزان تؤدي الى ان بعض اجزاء الجسم (الساق المر تكزة) لتتحرك حول (م) في اتجاه خاطىء والذي من الممكن ان بداية الدوران الامامي للساق حول(م) يمكن ان يكون تأثيره اما ان يختفي او ينعكس بواسطة انحناء بقية اجزاء الجسم اللحظي (وسوف تحدث حركة عكس عقارب الساعة حول م غير مرغوبة).

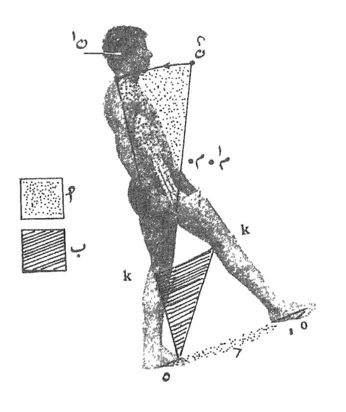
وقبل توضيح ذلك يجب ان نتأكد اننا لسنا بصدد الطريقة العملية المعتادة للحركة الامامية من السكون.

وأنه في غياب أي مجهود مؤثر فان الخطوة الواسعة بساق واحدة لا تبدأ ما لم يبدأ الجسم في فقدان التوازن للامام ويبدأ الحركة، عجلة ابتدائية تكون هي محصلة عزم دوران الجسم حول (٥) كما في شكل (١٤ أ).

وكما سبق وان صرفنا النظر حول هذه التأثيرات المنفصلة واعتبرنا الأجسام المتماسكة في حالة توازن في السكون ستترنح للخلف كما في شكل (٢٦) او سينحني للامام عندما ترتفع احد السيقان كما في الشكل (وبالتالي فإن الجسم سوف يمتلك حركته في اتجاه عقارب الساعة (م) وان النقطة (م) ستتحرك للامام (عكس اتجاه عقارب الساعة) بالنسبة الى مركز القدم (٥).

لو اردنا عمل تجربة عملية قبل أن نصل الى الاستنتاج النظري لمعرفة التأثير الفوري لحركة الساق (كما يرى انه مبالغ فيه) في شكل (٢٦).

والبرهان النظري : يختلف بعض الشيء عما قيل حتّى الان فبدلاً من اعتبار مادة كمية الحركة الدورانية الذاتية وتلك البعيدة (حول محور لا يمر بمركز الثقل) مثل (٥) حيث تظهر في اتجاهات معاكسة حول (م)، ٥ على الترتيب سنرى في شكل (٢٦) كيف ان حركة عناصر فردية للساق



الشكل (٢٦)

الشكل (٢٦) يوضح المساحات التي تتحرك فيها القدم اليسرى لعمل خطوة للامام وذلك في الاتجاه حول o بواسطة اجزاء القدم - الركبة وكذلك الرقبة تصاحب الحركة وعندما ترتفع الساق اليسرى عكس عقارب الساعة فلسوف نلاحظ أن الجزء المتصل بالقدم سوف ينحني للخلف بالنسبة لـ o وبالتالي فان الجسم كله سوف يدور تقريباً في الاتجاه الآخر مع عقارب الساعة بالنسبة الى مركز الثقل م التي سوف تتحرك بدورها الى الامام نحو م١. اما بالنسبة للمستطيلات المظللة ا، ب توضح المساحات الممسوحة في اتجاه عقارب الساعة وعكس عقارب الساعة بالترتيب.

تتحرك بالنسبة الى ٥ اي التي تسمح فيه المساحات الخاصة بها حول ٥ اي الاتجاه الذي يمتلك فيه كمية حركة دورانية حول ٥ .

والان حتى لو ان هناك ترنح (تحرك او اهتزاز) الى الخلف لبقية اجزاء الجسم فانه من الواضح ان جميع الأجزاء النشيطة او المتحركة للساق لها كمية حركة زاوية في عكس اتجاه عقارب الساعة حول ٥ ، ولكن ولكن يوجد انثناء وحيد للقدم ومفصل الكعب .

ونؤكد هنا ان المجهود الداخلي البحت لا يكسب الجسم لكل كمية الحركة الدورانية حول (٥) ولا يمكن لرد فعل الارض والذي يؤثر بالطبع على النقطة (٥) ونتيجة لذلك ان بقية اجزاء الجسم ستدور الى الخلف في اتجاه عقارب الساعة محمولة بواسطة كمية حركة الزاوية المساوية بالضبط لتلك الناشئة في الساق ويظهر ذلك في الشكل رقم (٢٦) وانه من الضروري ان محصلة الحركة الامامية للنقطة (م) تكسب وزن الجسم عزماً دورانياً في الاتجاه الامامي (الشيء الذي كما قد صرفنا النظر عنه فيما سبق) الذي يكسب (م) عجلة أمامية أكثر واكثر .

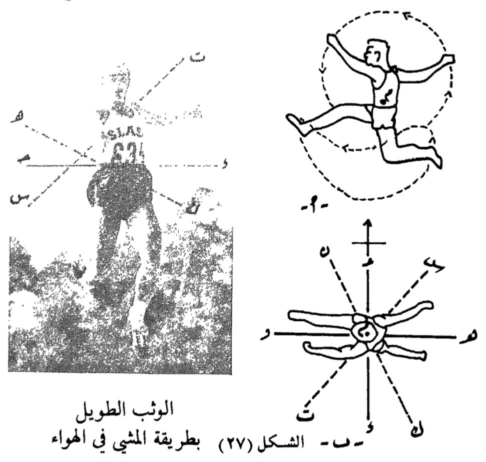
ضبط الإتجاه بواسطة حركة العضو الدائرية :

في حالة القفز باستخدام الساعد للاعب الترامبولين والتي تكلمنا عنها فيما سبق على أنها توضيح بسيط لامكانية استعمال اشكال متعددة للحركة الدورانية لخلق تغيرات في شكل الحركة اثناء تواجد اللاعب في الهواء . وأننا بناءً علـــى دراستنا السابقة نعرف ان مثل هذه الحركة تعادل حركة عجلة طاولة دائرية اذا ما حدث حول محور بعيداً عن (م) مركز الثقل بدلاً من المحور المار بالنقطة (م) والتأثيرات الملاحظة تختلف عن تلك في الطاولة الدائرية التي غالباً ما تستخدم لضبط حركة دوران الجسم في المستوى الجانبي والرأسي عندما يتحرك الجسم بطلاقة في الهواء والذي يشمل دائماً

حركة الاذرع الدائرية حول الاكتاف ، بالاضافة الى الاتساع الهوائي بين الساقين ، والمشي في الهواء Hitch-kick في الوثب الطويل توضيح ممتاز لهذه الاساسيات وسوف يكون أساس هذه المناقشة .

لقد سبق وان رأينا ان جسم الانسان المفصلي يحتاج الى تبسيط في حركته ولذلك فان حركته احياناً بحاجة الى دراسة على مراحل لمركبات حركية وتحليلها ألى اتجاهات ملائمة وهي غالباً ما تكون المحاور الرئيسية للجسم او كما في هذه الحالة محاور قريبة جداً منها كما في شكل (٢٧) .

ومن السهل تحليل مركبات حركة الجسم لو تصورنا انفسنا على مسافة قريبة بحيث يمكن ان نرى الحركة في اتجاه عمودي على المستوى موضع الدراسة.



الشكل (٢٧) الوثب الطويل بطريقة المشي في الهواء

في الشكل السابق (أ) نقطة الملاحظة واقعة على المحور الافقي خلال (م) وعمودية على مستوى حركة الجسم جميع الازاحات، السرعات، العجلات، وكل متجه يتعلق بهذه الحركة سوف يسقط بالنسبة لنا على هذا المستوى وجميع القياسات التي سنأخذها على هذه الكميات ستعمل بالنسبة لمركباتها وسوف نشاهد الحركة جميعها كما لو ان الجسم قد ضغط وتمدد في هذا الاتجاه عمودياً على خط البصر ولن تظهر لنا اي حركة خلال هذا الخط .

وأول شيء نتذكره هو في غياب مقاومة الهواء فان الجسم لا يعمل شيئاً لتحسين ممر مركز في الهواء وذلك يمكن تحديده عن طريق النتائج الرئيسية للرفع (الارتقاء) take-off .

ونحن نعرف ايضاً ان جميع اجزاء الجسم كبقية الاشياء في السقوط الحر فانها تخضع لعجلة الجاذبية الارضية (ج) وهذه الحقائق تجعل من المحور الموضح في الشكل السابق القيام مقام الطاولة الدائرية مع استمرار الحركة الدائرية للاذرع والسيقان لتشبه تصرف العجلة الدوارة .

اذا اصبح هذا مقبولاً فان التجربة رقم (٢) باستخدام الطاولة الدائرية توضح كيف ان لاعب الوثب الطويل قد ترك لوحة الارتقاء بكمية حركة الزاوية في عكس اتجاه عقارب الساعة شكل رقم (٢٧) وانه قادر على عمل ما لم يستطع الجسم المتماسك القيام به . وتبدأ اعضاء الجسم في الدوران بمعدل معين في نفس الاتجاه بحيث يمكنها ان تأخذ لنفسها نفس كمية الحركة.

بينما في تجربة الطاولة الدائرية فان دوران الجذع يمكن ان يحفظ ويحتفظ بانتصابه حتى تتم عملية الهبوط .

وبطريقة مشابهة لو ان القفز تم بدون كمية الحركة الغير مطلوبة فإنه من الممكن ان يتم عن طريق تصحيح سريع في شكل الجذع على ان يكون هذا التصحيح في هيئة الجذع وفي اتجاه معاكس لاتجاه حركة الأذرع وسوف يقف هذا التصحيح عندما يأخذ الجذع الشكل المطلوب وهذا بالطبع يعرف بأنه تطبيق على التجربة الثالثة .

الحركة في مستويات أخرى : Motion in other planes

لقد سبق وان شرحنا التحكم في الشكل او في هيئة الجسم في حالة الوثب الطويل وذلك بالنسبة للمستوى الرأسي .

أما بالنسبة للمستوى الافقي فان الاسقاط سيظهر لنا كما يبدو في شكل (٢٧ ب) وهذا الشكل يوضح الحركة العكسية والتي تظهر عندما تكون القدم اليسرى للامام فان الذراع اليمنى تكون في نفس الاتجاه الامامي . في هذا الشكل وذلك على سبيل المثال فان خط الفخذ (ك ن) تقريباً يتحرك في اتجاه عقارب الساعة بينما تبدأ الساق اليمنى واليسرى في تبادل حركتها للامام والخلف على التتابع ، بينما خط الاكتاف (س ت) يبدأ حركته في عكس اتجاه الاذرع على جانبي الجسم كما يبدو من المسقط فهي تؤلف عزماً زاوياً حول المحور الرأسي خلال (م) وهذه في معظم الوقت تكون مساوية ومضادة اذا لم يكن هناك اي اخلال غير لازم بالنظام للمحاور الأخرى (جـ د ، هـ و) .

والدفع الدوراني الذي يضع مجموعة الاذرع والاكتاف لتتحرك في اتجاه واحد يكون تأثير رد الفعل له مساوياً لذلك الذي يجعل مجموعة الفخذ والساق تدور في الاتجاه المعاكس ويبقى الجذع بدون اضطراب .

والوضع كما يبدو مسقطاً على المستوى الامامي شكل (٢٧ جـ) ويظهر لنا حركة عكسية بين (س ت ، ن ك) واي اختلاف يمكن ان يوجد بين العزم الزاوي الحاصل بين الحركتين المنفصلتين في اتجاهين متعاكسين في المستوى الجانبي ستؤخذ من جانب ترنح او تمايل الرأس والجذع اي الحركة التي لا تضطرب او لا تتأثر بالقفز .

هناك نقطة هامة يجب ان توضع في الاعتبار هي ان بعض اشكال الحركة للعضو قد تضيق من تحسن هيئة الجسم في الهواء عن طريق امتصاص كمية

الحركة الزاوية المصاحبة له وهذه الحركة يجب ان تستمر طالما ان الجسم بعيداً عن الارض . واذا لم تتم هذه الحركة فان الجسم سوف يستمر في تغير شكله بنفس الطريقة السابقة واذا كان هناك اي خطأ استاتيكي في الشكل يجب معالجته حتى لا يثبت هذا الخطأ مع الأيام وانه يمكن ان يعالج عن طريق حركة العضو الدورانية والتي تستمر فقط طالما يتم تصحيح الخطأ .

المعاملة الأولية لحركة متقدمة في الهواء :

Elementary treatment of the forward pike in the air

رأينا في سياق الكلام انه في حالة الوثب الطويل فان الحركة الدائرية للاذرع تحافظ على وضع الجذع في حالة توازن عندما يرتبك اللاعب او القافز وذلك نتيجة لكمية الحركة الزاوية في الاتجاه الامامي ويجب انَنعلم ان الوثبة النهائية الى الامام للجسم قبل الهبوط ضرورية جداً .

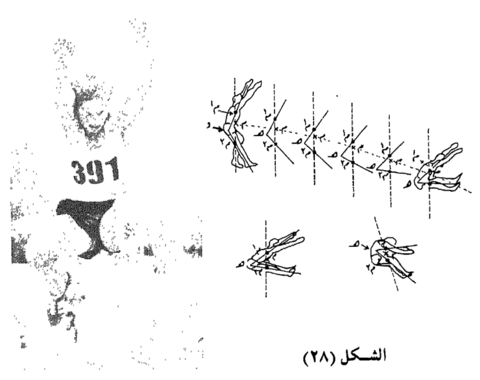
واذا كان جسم اللاعب حراً غير واقع تحت تأثير كمية الحركة الزاوية التي تتولد عند الاقلاع او الرفع (الارتقاء) فانه يكون من الممكن عند حدوث القفز نتيجة لاي خطأ تكنيكي او يحدث هبوط مبكراً للسيقان ، ولدراسة ذلك علينا ان ندرك ان دوراناً امامياً للاجزاء العلوية للجسم يتم حول الفخذ وان حركة لحظية امامية وعلوية للسيقان تكون اكثر صعوبة من قفل فكي تمساح وذلك على سبيل المثال ، بينما هذه لها محور ثابت تدور حوله والخط العرضي خلال الفخذ هو المحور الذي غالباً ما يتم حوله القفز وانه من السهل ان يرتفع وينخفض هذا المحور وهذا يتوقف على وضع الجذع والساقين معاً ذلك لان اتجاه حركته يعتمد على اكثر من عامل او مؤثر وبوضوح فان الاتجاه يكون الى اسفل بالنسبة لمركز كتلة الجسم اذا احتفظنا بوضع الساقين الى اعلى .

وهنا سنعامل الجسم على أنه ابسط مما هو عليه فعلاً وسوف نفترض ان

جزءه العلوي شكل (٢٨) هو عبارة عن نقطة يتمركز وزنه فيها وهي (م) وان الساقين كذلك يتمركز وزنها في النقطة (م٢) .

وطوال الوقت قبل أن تبدأ الحركة ستكون كل من م١ ، م٢ في اتجاهين متعاكسين من (م) مركز كتلة الجسم ككل وستكون النقط الثلاثة م١ م٢ م٣ على خط مستقيم واحد .

والان هذه النقاط الممثلة للكتل ليس لها كمية حركة زاوية ذاتية (محلية) ولما كان الجسم نفسه لا يمتلك كمية حركة زاوية ذاتية حول مركز كتلته فعلية فان م١ م٢ لا يمكنها ان تتحرك الا مقتربة او مبتعدة عن (م) وهذا يعني ان الخط الواصل بينهما يبقى في نفس الاتجاه عند تحركها اقتراباً وابتعاداً عن (م) اثناء حركة القفز نلاحظ بالاشارة الى شكل (٢٨ أ) .



الشـكل (٢٨)

شكل كامل للحركة من الامام

ان الممر الذي تتحرك فيه (م) في الهواء لا يتأثر بالدفع الداخلي الذي يسبب التغيير في الهيئة او الشكل .

فقط الخطوط الواصلة بين م١ م٢،عبر مفصل الفخذ (ھ) هو الذي سيتأثر بالحركة ولو تفحصنا في شكل هذه الخطوط نلاحظ (ان م١ ھ) أطول من (م٢ ھ) .

عليه فان الفخذ سوف يهبط الى اسفل عندما يرتفع الساق ، وباستخدام هذا النموذج المبسط نلاحظ ان الطريقة السليمة هي ان نجعل المسافة بين مركز كتلة الجزء العلوي للجسم ومفصل الفخذ اكبر ما يمكن ، وهذا يتم عن طريق فرد الظهر بقدر الامكان مع مد الذراعين في اتجاه نفس الخط الواصل بين مركز كتلة الجزء العلوي ومفصل الفخذ ، والاشكال المؤثرة وغير المؤثرة موضحة في الشكل (رقم ٢٨ أ ، ب ، ج) والطريقة الأكثر دقة هي ان نعتبر كتلة الجزء العلوي من الجسم والساقين عبارة عن كتل موزعة بدلاً من تركيزها في نقطة واحدة وهي الطريقة التي تأخذ في الاعتبار عزم القصور الذاتي لهذه الكتل حول مركز ثقلها .

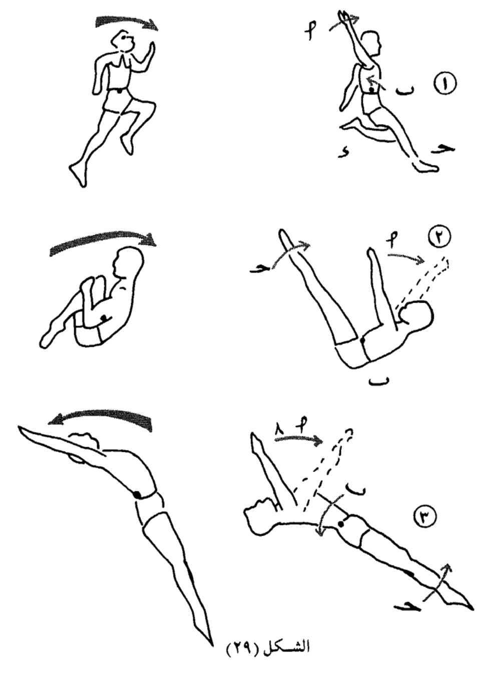
هذا يعني ليس فقط ان كل مركز كتلة يقترب من (م) تتقدم عملية القفز ولكن كل جزء يدور حول مركز كتلته وبالتالي فانه يمتلك كمية حركة زاوية ذاتية (محلية) .

شكل رقم (١) القوة المساعدة في نفس الاتجاه(أ،جـ،د)بينما (ب) تقاوم في الاتجاه الآخر

∴ أ + جـ + د ــ ب= محصلة القوة المسببة للحركة الزاوية

شكل رقم (٢) يوضح حركة زاوية في اتجاه السهم وجميع المفاصل تعمل في نفس اتجاه الحركة الزاوية

∴ أ+ب+جـ= محصلة القوة المسببة للحركة الزاوية

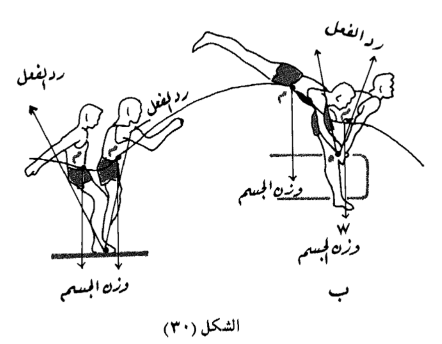


الشــكل (٢٩)

شكل يبين تأثير حركات المفاصل على الحركة الزاوية للانسان

شكل رقم (٣) حركة زاوية في اتجاه السهم (ب ، جـ) في اتجاه الحركة بينما (أ) عكس اتجاه الحركة

∴ـ أ + ب + جـ = محصلة القوة المسببة للحركة الزاوية .



الشكل (٣٠)

شكل رقم (٣٠)والذي يوضح انه اثناء الارتقاء الموضحة في شكل (أ) فان احد اعمال رد الفعل الضرورية هي اعطاء الجسم كمية حركة زاوية محلية كافية لدورانه الى الوضع (ب) .

حيث يتّم التلامس مع عنق حصان القفز وفي هذه الحالة تظهر اهمية وزن الجسم(W)للتغلب تقريباً على كمية الحركة الزاوية الامامية حول (٥) وبالتالي فان عملية الهبوط تكون ملائمة ورد الفعل بحكم عملية رد الفعل الدوراني الناتج عن الوزن وذلك عن طريق التحكم في الطريقة التي تبعد بها ذراع الرافعة بالنسبة الى (٥) ويظهر ذلك في فرد الذراعين .

ملخص :

أنواع الحركة : Classification of Motions

للحركة ثلاثة أنواع رئيسية وهي :

أولاً : الحركة المستقيمة أو الإنتقالية : Rectilinear or translatory

وهذا النوع من الحركة نجد ان كل جزء من الجسم المتحرك ينقل بنفس السرعة وذلك في خط مستقيم يوازي بالطبع مسار كافة الأجزاء الأخرى ، ويعني ذلك انتقال نقط الجسم انتقالاً متساوياً ومتوازياً . فلو لاحظنا الحركة التي تتولد في جسم شخص راكب سيارة او قطار فسوف نلاحظ ان حركة الجسم في حركة مستقيمة وهـــذه الحركة بالطبع هي حركة السيارة او هذه الحركة في الحركات الفيزيائية للانسان .

---

(١) من وجهة نظر الميكانيكا : تقسم الحركة الى ثلاثة انواع وهي :

أ - الحركة المنتظمة : هي التي يتحرك بها الجسم في خط مستقيم بحيث يقطع مسافات متساوية في فترات زمنية متساوية ومهما صغرت هذه الفترات .

ب - الحركة المتغيرة : هي التي يتحرك فيها الجسم في خط مستقيم بحيث يقطع مسافات غير متساوية في فترات زمنية متساوية .

ج - الحركة المنظمة التغيير : هي التي يتحرك بها الجسم في خط مستقيم بحيث تتغير سرعته بمقادير متساوية في فترات زمنية متساوية مهما صغرت هذه الفترات .

وتعد حركة الجسم للامام كما يحدث في المشي انتقالياً نتيجة لهذه الحركات الدائرية والتي غالباً ما تنشأ نتيجة لمجموعة من الحركات الدورانية حول مفصل او اكثر من مفاصل الجسم الانساني فتحدث حركة انتقالية للجسم حسب اتجاه الحركة اماماً او خلفاً وفي هذه الحالة تسمى الحركة انتقالية .

ثانياً : الحركة الدائرية : Rotary Motion

وهي الحركة الدائرية للجسم والتي تتم حول محور ثابت يسمى محور الدوران وهـو يقـع اما داخـل الجسم كما هـو الحـال في بعض أنواع الرقص وخاصة الراقص الذي يدور حول نفسه مثلاً واما خارج الجسم كما يحدث كثيراً في الجمباز ، ولذلك نلاحظ ان سرعة اي نقطة في لحظة ما عمودية على الخط الواصل بين محور الدوران وبين هذه النقطة اي بمعنى آخر يمثل كافة أجزاء الجسم الى عمل دوائر تتحد مراكزها في محور الدوران بأنصاف أقطار تتناسب مع بعد هذه الأجزاء عن محاور الدوران ويجب ان نلاحظ انه من الممكن ان تكون الحركة دائرية ومستقيمة في نفس الوقت .

ثالثاً : الحركة المنحنية : Curvilinear Motion

وفي هذا النوع من الحركة تأخذ أجزاء الجسم المختلفة اشكالاً منحنية وذلك حسب ظروف الحركة فقد يكون هذا المنحنى منتظماً او غير منتظم .

ولو أهملنا مقاومة الهواء في مثل هذه الحركات فان مركز الثقل في الغالب يتخذ مساراً في شكل منتظم وخاصة في دفع الجلة مثلاً او رمي الرمح .

وبناءً على ما سبق ولو تصورنا او عدنا للقانون الاول للحركة فاننا نلاحظ ان الاجسام المتحركة لا تستمر في حركتها بسرعة منتظمة في خط

مستقيم فالكرة مثلاً تقف بعد مدة من الزمن او قد تغير في اتجاهها والقرص لا يظل دائم الحركة وهكذا . وذلك بالطبع يرجع وكما اوضحنا الى قوة الاحتكاك والى مقاومة الهواء . فالقانون الاول يتضمن قاعدة القصور الذاتي اي أن كل جسم قاصر او عاجز بذاته عن القيام بتغير حالته من سكونه او حركة منتظمة في خط مستقيم . فلاعب العاب القوى مثلاً يقع تحت تأثير قوة الدفع ، قوة الاحتكاك ، ثقل اللاعب نفسه ، رد الفعـــل الناتج من الارض رأسياً الى اعلى والى الامام وهو يساوي ويضاد ثقل اللاعب ويتعادل معه .

واذا ما تم تعادل هذه القوى الأربع يتحرك اللاعب بسرعة منظمة ولو تصورنا الان ذلك يحدث بالفعل ان رجلاً قفز من سيارة وهي مسرعة فانه بالطبع يكون عرضة للوقوع ذلك لان قدميه تقفان نتيجة لقوة احتكاكهما بالأرض بينما الجزء العلوي للرجل لا يزال متحركاً في اتجاه سير السيارة نتيجة عدم وجود قوة توقف من اندفاع الجزء العلوي في اتجاه سير السيارة فيقع الرجل على الأرض .

ولو اوقف رجل سيارته فجأة اندفع الركاب برؤسهم للامام وسبب ذلك يرجع ايضاً لان الجزء السفلي مكتسب سرعة السيارة ومرتكز على المقعد بينما يحدث ما حدث بالنسبة للجزء العلوي في المثال السابق .

واذا رغب لاعب الحصول على كمية حركة اكبر فان عليه ان يقوم بزيادة عامل القوة والزمن فلو استخدم اللاعب مثلاً مضرب تنس فان عليه ان يقوم بضرب الكرة بكمية دفع تتناسب مع كتلته وسرعة حركته فلو وضع اللاعب ثقله خلف ضربة الارسال فلسوف يكون لهذه الضربة فاعليتها وأثرها الهام . فالجهد البدني المسبب للتغير في كمية الحركة للاجسام التي يقذفها الانسان من الممكن حسابه وبالتالي يمكننا ان نعرف مقدار الجهد البدني المطلوب للحركات المختلفة وهذا ما جاء بالقانون الثاني للحركة والذي ينص على ان معدل التغيير في كمية الحركة يتناسب مع القوة المحدثة

له ويكون في اتجاهها .

اما اذا وقف شخص على مقعد فانه يضغط على المقعد الى اسفل ويكون المقعد تحت فعل الشخص عليه،هذا في الوقت الذي يشعر الشخص فيه بأثر المقعد في حمله اي برد فعل المقعد عليه ويكون الفعل ورد الفعل متعامدين عند سطح التلامس الاملس .

اي ان الحركة الموجودة في الطبيعة تحدث ازدواجاً فكل زوج منها يتكون بالطبع من قوتين متساويتين في المقدار ومتضادتين في الاتجاه وتعملان في خط عمل واحد

ومن الامثلة الهامة في النشاط الفيزيائي حركة الارتقاء والتي سبق ان تكلمنا عنها بالتفصيل وهي مثال واضح لتطبيق القانون الثالث للحركة في الحركات الفيزيائية فالدفع الذي يدفع به اللاعب الارض يسبب رد فعل مساو له في المقدار ومضاد في الاتجاه وهذا ما جاء في القانون الثالث للحركة ولكن نظراً لاختلاف الحجم فالارض لن تتحرك بالطبع اليس كذلك انما رد الفعل سوف يقوم بدفع اللاعب في الاتجاه المضاد للفعل للدفع حسب زاوية الارتقاء التي دفع بها االلاعب الارض ، وظاهرة الارتقاء هذه لا تستخدم فقط في حركات الجمباز ولكنها تستخدم ايضا في الغطس والسباحة ايضاً وفي حركات البدء في العاب القوى يختلف قليلاً فعندما يرتكز اللاعب على مكعبات البدء فان القوة الناتجة من قوة الدفع على مكعبات البدء لها آثار هامة في مثل هذه الانواع من المسابقات ، وسوف نوضح ذلك في الفصل القادم .

الفصل الثامن

تطبيقات عن ميكانيكا الحركة الرياضية

تطبيقات لميكانيكا الحركة الرياضية في كل من :

١ ــ الجمباز Gymnastics

٢ ــ كرة السلة Basket ball

٣ ــ السباحة Swimming

أولاً : الجمباز :

يعتمد الجمباز بصورة فريدة بالاضافة الى الغطس على مبادىء ديناميكية مطلقة .

وهناك مبادىء هامة يجب الالمام بها لكونها ركيزة هامة يتوقف عليها نجاح التدريب من جانب اللاعب والمدرب [١] وهذه المبادىء هي :

(١) زيادة القوة العضلية في الجزء العلوي من الجسم وخاصة عضلات الذراعين والكتفين واوضح مثال على ذلك من حركة الصعود على العقلة بطريقة المرجحة Up Start نلاحظ ان اللاعب يفهم جيداً طريقة اداء المرجحة الصحيحة بالاضافة الى التوقيت السليم في عمل التقوس المطلوب للحركة ولكنه يعمل على تقصير نصف قطر الدوران لمحاولة تقريب مركز الثقل لمركز الدوران وهذا الوضع يتطلب من

(١) ابراهيم سلامه (علم الحركة) الدار القومية للطباعة والنشر ، الطبعة الاولى ١٩٦٦ .

اللاعب قوة كبيرة من الذراعين والكتفين للتغلب على هذا الوضع .

(٢) يجب على اللاعب ان يحاول دائماً الاستمرار في التحكم لمركز ثقل الجسم . اي يجب أن يحاول دائماً ان يكون مركز الثقل واقعاً داخل قاعدة الارتكاز وذلك في حالة الحركات التي تتطلب الثبات . كما يجب ان يحتفظ بمركز الثقل قريباً من مركز الدوران اذا كان الهدف او الغرض من الحركة هو اعاقة تأثير حركة دوران الجسم والحالة الاخيرة والتي يجب ان يعمل اللاعب فيها على ابعاد مركز ثقله بعيداً عن مركز الدوران وذلك في حالة الحصول على سرعة انقلاب او دوران .

(٣) من العوامل الهامة معرفة الوقت اللازم لبدء كل حركة :

فلو قام اللاعب بعمل مرجحة مثلاً وقبل ان تصل المرجحة لنهايتها قام اللاعب باداء الحركة فمن المعروف ان اللاعب لن يستطيع استكمال الحركة وبعض الحركات الاخرى التي تتطلب من اللاعب لف الرأس لقيادة حركة او توجيهها فلو تسرع اللاعب في استخدام رأسه ادى ذلك الى فشل الحركة .

المرجحات في الجمباز :

في المرجحات تنطبق الاسس والنظريات الديناميكية- للحركة الدائرية ويجب ان نضع في الاعتبار مقدار قوة الطرد المركزية وعزم القوة وهما من العوامل الهامة للاداء الحركي السليم ويجب مراعاة العوامل الآتية :

(١) لكي نحصل على مرجحة كافية للأمام يجب العمل على تغيير نصف قطر الدوران المرجحة عن طريق سحب الجسم تجاه نقطة الارتكاز «العقلة — الحلق الطائر » وذلك عند مروره بنقطة تقع تحت محور الدوران مباشرة . ويجب ثني مفصل الكوع وتنقبض الركبة والفخذين،ونتيجة لذلك

ينتقل مركز الثقل بالقرب من محور الدوران والعكس صحيح عندما نريد اكتساب كمية حركة من المرجحة الخلفية ففي هذه الحالة يجب العمل على اطالة نصف قطر الدوران ولذلك يمتد الجسم كاملاً وذلك عن طريق تبعيد الرجلين خارج نقطة الارتكاز وبذلك ينجح اللاعب في ابعاد مركز ثقله لمسافة بعيدة عن محور الدوران مع مراعاة ان يحتفظ اللاعب بجسمه ممتداً لكي يسقط للأمام بحرية تامة وعلى ذلك يمكن الوصول بهذه المرجحة الى الارتفاع المطلوب لاداء الحركة وذلك نتيجة لتكرار هذه المرجحة .

المرجحة أسفل العقلة للصعود والإرتكاز :

في هذه الحركة يستخدم اللاعب المرجحة لأعلى دون الحاجة لتوليد كمية حركة كبيرة وتعتمد هذه الحركة اساساً على قوة السحب الكبيرة لمكان ارتكاز اليدين وتقوم القدمين بالدفع العمودي مع ملامسة الفخذ لبار العقلة وفي نهاية المرجحة للخلف يبدأ اللاعب في الشد لرفع جسمه للصعود والارتكاز وبذلك تتم الحركة بسهولة .

المرجحة للوقوف على اليدين باستخدام جهاز المتوازي :

يعمل اللاعب على مرجحة جسمه اماماً وخلفاً وعندما يكون جسم اللاعب للأمام فانه يقوم بفرد القدمين على ألا يصاحب ذلك ميل الجزء العلوي للخلف بصورة كبيرة لذلك يسمح هذا الوضع باطالة نصف قطر الدوران لنحصل على زاوية سرعة كبيرة Angular volecity تناسب الحركة لأعلى .

وفي المرجحة لاعلى يحدث ميل للامام ليسمح هذا الميل للذراعين بالحركة البسيطة للامام وفي نفس الوقت يتحرك الجسم لأعلى على محور ارتكازه وهو

في هذه الحالة أي محور الارتكاز هو اليدين مع مراعاة ان تكون اليدان ممتدتان وعندما يصل اللاعب لوضع الوقوف على اليدين (الوضع العمودي) فإن الثقل في هذه الحالة يوزع على اليدين بالتساوي . وفي حالة اللاعبين المبتدئين يجب عمل تقوس قليل بالظهر لتوزيع الثقل على الذراعين .

ثانياً : كرة السلة :

سوف نتعرض هنا لنقط ارتداد الكرة على لوحة التصويب والتي عن طريقها تتخذ الكرة مسارها داخل الهدف :

وسوف نقف عند النقاط التالية :

١ ـ نقط ارتداد الكرة على لوحة الهدف .

٢ ـ قوة الرمية .

٣ ـ مقدار دوران واتجاه الكرة .

٤ ـ قوس الرمية .

٥ ـ مواقع رمي الكرة من ارض الملعب .

الكرة التي لا تحمل اي دوران ترتد من لوحة الهدف بنفس زاوية سقوطها عليها اي زاوية السقوط=زاوية الارتداد (من الاتجاه الآخر) .

فاذا كانت التصويبة من موقع في الجانب الايمن من الملعب يعمل ٤٥° مع نقطة الارتداد فمن المؤكد ان هذه الكرة سوف ترتد بزاوية ٤٥° مع لوحة التصويب ومركز السلة او على نقطة تبعد ١٥ بوصة على يمين مركز السلة ومن المعروف ان الجاذبية الارضية تعمل باستمرار على شد الكرة لأسفل لذلك يجب حساب ذلك اثناء القيام بالتصويب على السلة .

وموقع اللاعب داخل الملعب او نقط الارتداد على اللوحة يجب تغيرها اذا اكتسبت الكرة اي نوع من الدوران .

فاذا قام اللاعب بالتصويب وهو متحرك في اتجاه الحد الجانبي يجب ان يراعي ان تبتعد نقطة الارتداد عن السلة .

اما اذا كان يتحرك في اتجاه نصف الملعب فتكون نقطة الارتداد قريبة من السلة اما في الحركة للخلف تجاه خط النهاية فنقطة الارتداد يجب ان تتحرك في اتجاه السلة .

أما عن القوة اللازمة لنجاح التصويب فتعتمد اساساً على زاوية السقوط على لوحة التصويب ففي حالة التصويب بزاوية صغيرة يجب ان تكون نقطة الارتداد بعيدة عن السلة وفي هذه الحالة تحتاج الكرة لقوة كبيرة لتولد كمية حركة تساعدها على المرور في السلة قبل ان تعمل الجاذبية عـــلى شدها دون ان تحقق الهدف .

ويجب العلم انه كلما انخفضت نقطة الارتداد كلما زادت القوة اللازمة لدفع الكرة .

ولوضع حلقة السلة في المستوى الافقي اهمية خاصة للكرات الساقطة من أعلى للمرور مباشرة في داخل الهدف (السلة) وبالطبع فكلما صغرت زاوية الكرات الساقطة كلما صغر حجم الهدف المسموح للكرة بالمرور فيه فعندما نقف اسفل السلة سوف نشاهد الحلقة باكملها وكلما تحركنا للخلف سوف تتلاشى هذه المساحة الكبيرة شيئاً فشيئاً ولذلك نلاحظ اصطدام الكرات الساقطة بزاوية حادة بحلقة السلة وترتد خارجها اما الكرات الساقطة بزوايا كبيرة اقرب للعمودية فان الفرصة لدخولها السلة افضل بكثير من الحالة السابقة .

ونحن نرى ان التصويب المباشر على حلقة السلة افضل بكثير من استخدام الارتداد من اللوحة نفسها وخاصة اذا كان اللاعب بعيداً عن السلة ويرجع ذلك الى ان اي خطأ في توجيه الرمية في البداية سوف يؤدي الى عدم نجاح التصويبة بالاضافة الى تأثير الجاذبية الارضية ايضاً رد الفعل الذي من المحتمل ان يحدث لو ان الكرة اصطدمت بالحلقة .

ثالثاً : السباحة :

اذا تأملنا الجسم البشري نجد انه مكون من مواد مختلفة البعض كثافته أكبر من كثافة الماء مثل الهيكل العظمي والعضلات، ومواد اخرى كثافتها اقل من كثافة الماء وهي اقل من الاولى مثل الدهن .

بالاضافة الى تجويف الصدر وهو يحتوي على الرئتين الممتلئتين بالهواء وبالطبع كثافة هذا الهواء اقل بكثير جداً من كثافة الماء ونستطيع ان نقول ان للجسم كثافة خاصة تسمى **الكثافة النسبية .**

ويطفو جسم الانسان في الماء اعتماداً على قوة الدفع المائي من اسفل الى اعلى بالاضافة الى الكثافة النسبية للجسم .

وفي العادة فان الجسم البشري يطفو بسبب خاصية جاذبيته اي الوزن بالنسبة للوحدة الحجمية الّتي تعد اقل من خاصية جاذبية الماء .

$$\text{خاصية الجاذبية} = \frac{\text{وزن الجسم}}{\text{وزن كمية معادلة من الماء}}$$

ونحن نلاحظ ان الاجسام الّتي تكون بها نسبة عالية من العظام والعضلات تقل فيها خاصية الطفو بعكس الاجسام الّتي يدخل في تركيبها نسبة عالية من الدهن ولذلك تطفو البنات والسيدات عموماً افضل من الرجال .

وحيث ان جسم الانسان غير منتظم الشكل متجانس المـــادة كما

اوضحنا ذلك فاننا نستطيع ان نحصل على خاصية جاذبية عن طريق غمره في الماء وعن طريق وزن الماء المزاح نستطيع تحديد وزنه وتسمى كمية الماء المزاحة بكمية الماء المفقودة .

وبسبب احتواء منطقة الصدر على الرئتين تصبح خفيفة جداً اذا ما قورنت بحجمها ولذلك تعتبر منطقة معرضة للدفع المائي اكثر من اي منطقة اخرى في الجسم ويدور جسم الانسان في الهواء حول محور يمر بمركز ثقله اما في الماء فسوف يدور حول مركز الطفو Center of Buoyancy والذي يوجد في منطقة الصدر فوق مركز ثقل الجسم (مركز الثقل العام للجسم) .

وعند تطبيق نظرية الدوافع في الجسم البشري يتضح انه كلما بعد مركز الثقل عن محور الارتكاز « مركز الطفو Center of Buoyancy » كلما زاد تأثيره كنتيجة لزيادة طول ذراع المقاومة ومن هنا يبدأ الجسم في الدوران حول مركز الطفو ويفقد توازنه في الماء ولذلك وبناءً على هذه النتيجة تهبط الرجلان الى اسفل .

ويمكن ان يزداد الطفو والاتزان بزيادة حجم الجسم دون زيادة وزنه وبرفع مركز الثقل حتى يقترب من مركز الطفو (محور الارتكاز) وبالتالي تقصير ذراع المقاومة .

وحالة من حالات الطفو ينطبق فيها مركز الثقل ومركز الطفو على بعضهما وذلك في طفو القنديل .

وحيث ان مركز ثقل الجسم في معظم الافراد يقع اسفل مركز الطفو مما يتسبب عنه حدوث قوة عزم تسبب الدوران فان وضع الطفو للغالبية العظمى يصبح فيما بين الوضع الافقي والوضع العمودي .

وبعض الافراد لديهم القدرة على الطفو وارجلهم تحت الصدر مباشرة

في الوضع العمودي وهذا يعني انه عند اتخاذ الوضع الافقي الثابت للطفو تهبط الرجلان ونتيجة لذلك تتولد كمية حركة بسبب العجلة الحادثة من شد الجاذبية الارضية للرجلين ، وكمية الحركة هذه تعمل على جذب السباح لأسفل سطح الماء حتى ولو سمحت خاصية الطفو باتخاذ زاوية فوق العمودية وقوة الدفع يمكنها سند الجسم ولكنها ليست كبيرة بالدرجة التي تتغلب بها على كمية الحركة المتولدة من سقوط الرجلين .

ونلاحظ ان رفع الرأس لأعلى باستمرار يسبب خفض القدمين لاسفل في الماء حيث يكون وضع الجسم الافقي رافعة من النوع الاول محور ارتكازها مركز الطفو وهي تشبه حركة الارجوحة فعندما يرتفع احد طرفيها ينخفض الطرف الاخر .

القوى المحركة في السباحة :

يتحرك الجسم في الماء بواسطة حركات الشد والدفع بالذراعين وايضاً حركات الرجلين والجسم يتحرك في اتجاه عكسي القوى المبذولة فالحركة للخلف تحرك الجسم للامام والحركة لأعلى تدفع الجسم لأسفل والحركة لأسفل ترفع الجسم لأعلى وايضاً فان الحركة للجهة التي تحرك الجسم للناحية اليسرى والعكس وهذا الوضع تطبيق لقانون نيوتن للحركة وهو ان لكل فعل رد فعل مساو له في المقدار ومضاد له في الاتجاه . وكلما نقصت المقاومة الواقعة على الجسم في اتجاه حركته ادى ذلك لزيادة سرعته ، وايضاً فان المقاومة الواقعة على الجسم تزداد بزيادة مربع السرعة .

لذلك نلاحظ ان الحركات التي تؤدى وتعمل القوة فيها في نفس اتجاه حركة السباح تكون بمثابة عامل من عوامل الاعانة لتقدمه واذا اديت هذه الحركات ببطء تؤدي الى انخفاض المقاومة ، والقوة التي تعمل على تقدم السباح يجب ان تؤدى بقوة وبسرعة ، فحركات اليدين والقدمين الايجابية هي

المسئولة عن حركة الجسم ذلك لان هذه الاجزاء نهايات روافع الطرفين العلوي والسفلي ولكي يمكننا الاستفادة من قدرتيهما يجب ان تؤخذ الزوايا المناسبة لاداء اقصى دفع ضد الماء ولهذا يجب ان يكون وضع اليدين قابلاً للتغيير خلال حركة الذراعين حتى تتمكن راحة اليد من شد ودفع الماء للخلف مباشرة وباستمرار .

ولقد أوضح الباحث « كوريتون » [1] أن وضع القدمين يجب ان يكون بحيث تتمكن من دفع الماء للخلف في حركته لأسفل ولأعلى وعند الدفع باليدين والقدمين يكون ذراع المقاومة هو كل الطرف بالنسبة لمحور الكتف او الفخذ .

بالاضافة الى ان الجزء النهائي من القدم يعد رافعة قصيرة في حالة عمل مفصل القدم وبسبب امكانية وضع اليدين في شكل يسمح بدفعهما للخلف بطريقة مباشرة مما يؤدي الى رفع الجسم باليدين اكثر من القدمين .

وعند تحليل « كربوفتش » للقوى الدافعة للجسم في سباحة الزحف وجد ان السباحين الممتازين يحصلون على ٧٠٪ من حركتهم بواسطة الذراعين ، ٣٠٪ بواسطة الرجلين . كما وجد ان السباحين ذوي المستوى المنخفض يحصلون على ٧٧٪ من حركتهم للامام بواسطة حركات الذراعين .

والسباحة بصورة عامة وعن طريق حركات الذراعين والرجلين هي عبارة عن تحريك الجسم من حالة السكون فان ذلك بالطبع يتطلب بذل قوة كبيرة لاستمرار حركة تقدم الجسم به بسبب القصور الذاتي ولذلك يجب ان تؤدي الضربات المختلفة والتي تعمل على تقدم الجسم سواء كانت الذراعين او الرجلين ان تعمل بتوقيت سليم . ولذلك يجب ان نعرف ان اداء

---

(١) محمد فتحي الكرداني – موسى فهمي – السعيد ندا (السباحة) دار الكتب الجامعية ١٩٦٨ ص ٧٧ .

ضربات الذراعين باستمرار دون وجود فترة بين كل ذراع والآخر لن تساعد السباح للحصول على الاسترخاء المطلوب من كل حركة واخرى .. « اي من الشد والارتخاء . »

ذلك ان لكل حركة من حركات الذراعين مسافة امامية فلو استغل السباح لحظة انتهاء هذه المسافة وقام بعمل الحركة الاخرى بالذراع الاخر لاستطاع ان يكتسب مسافة بالاضافة الى القدرة على الاسترخاء الذي يجعل السباح قادراً على مواصلة السباحة .

ميكانيكا البدء :

والبدء يقصد به انتقال الجسم من حالة الثبات الى حالة الحركة على ان يكون انتقال الجسم لأكبر مسافة ممكنة للأمام في اقصر زمن ممكن .

والبدء يشمل الاقسام الاتية :

١ — وضع الاستعداد: وفي هذا الوضع يكون خط الثقل واقعاً عمودياً على مركز القاعدة التي تتكون من القدمين والمسافة المحصورة بينهما وهذه المسافة ليست محدودة ولكنهـا تتناسب مـع اتساع الحوض بالإضافة الى ثني الركبتين لخفض مـركز الثقل حتى يستطيع السباح عمل الدفع للأمام .

٢ — الانطلاق : للانطلاق عاملين اساسيين هما :

ا — زاوية الانطلاق

ب — سرعة الانطلاق

أولاً : زاوية الإنطلاق :

وتتناسب هذه الزاوية مع الغرض المراد تحقيقه هل انطلاق للأمام او لأعلى عموماً فان افضل زاوية للانطلاق ٤٠° تقريباً وذلك ليستطيع السباح قطع مسافة كبيرة للامام فيجب ملاحظة ان الجاذبية الارضية تعمل دائماً على سحب السباح لأسفل ، وحيث ان الجزء العلوي للجسم يكون في اقصى درجات الميل الامامي فسوف تعمل الجاذبية على شده مع ملاحظة ان القدمين ما زالت مرتكزة على مكعبات البدء ولذلك تنتج كمية حركة دائرة Rotary Motion للجزء العلوي من جسم السباح ولذلك يجب ان يتغلب السباح على هذا الوضع حتى لا يسقط بزاوية اقرب ما تكون للقائمة مما يؤدي الى فقده للمسافة الامامية وذلك عن طريق سرعة الانطلاق .

ثانياً : سرعة الإنطلاق :

وهي السرعة التي ينطلق بها السباح تاركاً مكعبات البدء في اقصر زمن ممكن لاكتساب مسافة امامية وللتغلب على الوضع السابق الناتج من القصور الذاتي لجسم السباح والذي يكون في وضع اتزان قلق .

وعليه كانت كمية الدفع التي يجب ان ينطلق بها عمودية خلف مركز الثقل الجسم على الخط الواصل بينه وبين نقطة الارتكاز والتي يمكن تحديدها عن طريق محصلة المركبة الرأسية الناتجة عن دفع الرجلين لأسفل على نقطة البدء وكذلك المركبة الافقية الناتجة عن ميل الجسم للامام ومرجحة الذراعين والمرحلة النهائية لعملية الدفع والتي يتم فيها الدفع بمشطي القدمين والخلف .

ولمرجحة الذراعين للامام اهمية في انتاج كمية حركة ذات مركبة أفقية للأمام والتي تنتقل الى الجسم لحظة توقف هذه المرجحة .

٣ ـ الإنطلاق :

أقل الأوضاع مقاومة للهواء هو الوضع الافقي نتيجة لصغر المساحة التي تكون معرضة لمقاومة الهواء وعليه يراعى عدم حدوث انثناءات في الجسم وزوايا .

٤ ـ الدخول إلى الماء :

يجب ان يكون الجسم مستقيماً ومتماسكاً في مستوى افقي تقريباً بزاوية من ١٠ الى ٢٠ عند دخول الماء حتى تكون مقاومة الماء للجسم قليلة اثناء الاصطدام بالماء لحظة الدخول وذلك ناتج من أن السطح المعرض من الجسم للاصطدام سوف يكون صغيراً . والذراعين في لحظة الدخول الى الماء تقود الجسم ولذلك يجب عدم تحريكهما حتى لا يجد السباح نفسه في اتجاه غير مرغوب فيه .

خاتمة

والآن قد وصلنا الى نهاية الكتاب بعد ان عرفنا العوامل الكثيرة المتعلقة بميكانيكية الحركة البشرية اليس من حقنا ان نهبط او نقف بعد هذه الحركات الكثيرة اليس من حقنا ان نعرف كيف نقف او نهبط بطريقة صحيحة تضفي على الحركات رونقاً وجمالاً . وهذا الجمال وذلك الرونق يتطلب المعرفة الصحيحة لطريقة امتصاص الصدمات عند الوقوف او الهبوط من الحركات وكذلك مرونة الذراعين عند استقبال الكرات او الاشياء المختلفة .

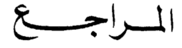
وامتصاص الحركة يتم بواسطة مفاصل الاصابع والقدم والركبة والحوض عند مسك شيء ما يرمى في اتجاهنا فان الذراعان تتقدمان لمسك الشيء المرمي وهنا يكون واجب الحركة ايقاف الاداة ومسكها ولذلك تتوقف طريقة المسك على مرونة عمل الذراعين .

والهبوط السليم يحتاج الى صفة المرونة وهذه الصفة اي صفة المرونة تعتمد على قدرة الانسان على التجاوب مع الاجسام الصلبة الموجودة في البيئة التي تعيشها . فالطفل الصغير لا يملك هذه القدرة على التجاوب بمرونة المحيط او البيئة التي يعيش فيها وايضاً الشيخ الكبير ، فلو لاحظنا طفلاً يقفز فاننا سوف نرى طريقة ارتطامه بالارض حيث لم يكتسب بعد القدرة على ارتداد الحركة ، ومع الاحتكاك المستمر يستطيع الطفل أداء حركاته بطريقة مرنة هبوطاً وصعوداً ويجب ان نعرف ان استقبال حركة ما بطريقة غير مرنة « المرونة هنا للمفاصل » قد يؤدي الى احتمال اصابة الجهاز الحركي للانسان او قد يحدث تمزق او كسر في العظام عليه كانت المرونة في الهبوط

عاملاً هاماً ويجب معرفة الواجبات الحركية المطلوبة فلكلٍ حركة عمل خاصة وطريقة معينة تحدد درجة الهبوط والارتداد مرة ثانية .

فلاعب الجمباز الذي يقوم باداء حركة القفز فتحاً لمرة واحدة يكون ارتداده في هذه الحركة قوياً اما اذا وضع اكثر من جهاز متقاربين فان ارتداده يكون سطحياً فواجب الحركة في الحالة الاولى هو ايقاف الجسم بناءاً على ما ينص عليه قانون اللعبة اما في الحالة الثانية فان نهاية كل حركة تمهيدية للحركة التي تليها وهكذا فالهبوط من الحركة يعد ارتقاءً لحركة اخرى ويظهر ذلك بوضوح في الحركـــات الارضية في الجمبـــاز حيث الترابط بين الاقسام المختلفة للحركة وايضاً في التمرينات الفنية حيث تعد نهاية كل تمرين بداية للتمرين التالي وهكذا .

تم بحمد الله وتوفيقه



1. Atwater, A.E.: Movement Characteristics of Men and Women Performers. Doctoral Dissertation. University of Wisconsin. 1970.
2. Barter J. T: Estimation of the Mass of Body segrments wright Patterson Air Force-Base Ohio 1957 (WADC TR 57.200).
3. Bernstein N.A. The Co-ordination and Regulation of Movements. New York Pergamon Press 1967.
4. Clauser C.E et al.. Anthropometry of Air Force women wright Patterson air Force Base Ohio 1972 (AMRL. TDR 72-5).
5. Coope, 1. M. and Glasson , R.B. : Kinesiology 3rd Ed St Louis G. r. Mosby 1972.
6. Dyson G.: the Mechanics of Athletics 5th Ed London. University of London Press 1970.
7. Hay J. C. the Center of Gravity of the Human Body in Kinesiology 1973. Washington: AHHPER 1973.
8. Korb, R.J.: A simple Electrogoniometer: A Technical Note Res Q. Anr. Assoc Health Phyc. Ed: 41 203-204 1970.
9. Miller. D.I.: Compnfer Simulation of Human Motion In H.T.A whiting (Ed.) techniques for the Analysis of Human Movement. London: Henry Kimpton 1973. Cn Press.
10. Myers I.L. Fandamentals of Experimental Design. 2nd. Ed. Boston Mass Allyn Bacon 1972.
11. Maja Carlquist Rhythmical Gymnastics Methuen London 1961
12. Williams - Lissner Pomechanics of Human Motion W. B. Saunders Company Philadelphia. London 1962.

الفهرس

الاهداء	٥
تقديم	٧
مقدمة	٩
الفصل الاول: تعريفات أساسية	١٣
الفصل الثاني: التأثير الدوراني للقوة	٣٥
الفصل الثالث: القوة ومواصفاتها التامة	٥١
الفصل الرابع: الاحتكاك والاستقرار	٦٧
الفصل الخامس: الدفع وكمية الحركة	٨٣
الفصل السادس: الحركة الدورانية	١٠٩
الفصل السابع: كمية الحركة الزاوية للانسان	١٥٣
الفصل الثامن: تطبيقات عن ميكانيكا الحركة الرياضية	١٧٩
خاتمة	١٩٣
المراجع	١٩٥

اقرأ للمؤلف

١ ـ المرجع في التمرينات البدنية
٢ ـ أسس التدريب الرياضي

قريبـــاً

١ ـ فسيولوجيا الحركة البشرية
٢ ـ سيكولوجيا الحركة البشرية
٣ ـ علم النفس الرياضي .


٨٠٠ درهم ليبي


الشركة العامة للنشر والتوزيع والإعلان